



TESIS - PM147501

INTEGRASI SIG DAN MCDM UNTUK EVALUASI PENENTUAN LOKASI PLTS, STUDI KASUS DI KABUPATEN KUPANG, NUSA TENGGARA TIMUR

FITRIA SAWITRI
9113202810

DOSEN PEMBIMBING
Prof.Drs.Ec.Ir.Riyanarto Sarno, M.Sc.,Ph.D.

PROGRAM MAGISTER MANAJEMEN TEKNOLOGI
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN PROYEK
PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - PM147501

INTEGRATION OF GIS AND MCDM METHODS FOR THE EVALUATION OF SOLAR FARM LOCATIONS, CASE STUDY IN KUPANG REGENCY, EAST NUSA TENGGARA

FITRIA SAWITRI
9113202810

SUPERVISOR
Prof.Drs.Ec.Ir.Riyanarto Sarno, M.Sc.,Ph.D.

MAGISTER MANAGEMENT OF TECHNOLOGY PROGRAM
CONCENTRATION IN PROJECT MANAGEMENT
POSTGRADUATE PROGRAM
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016

**INTEGRASI SIG DAN METODE MCDM UNTUK EVALUASI
PENENTUAN LOKASI PLTS,
STUDI KASUS KABUPATEN KUPANG, NTT**

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Manajemen Teknologi (M.MT)

di

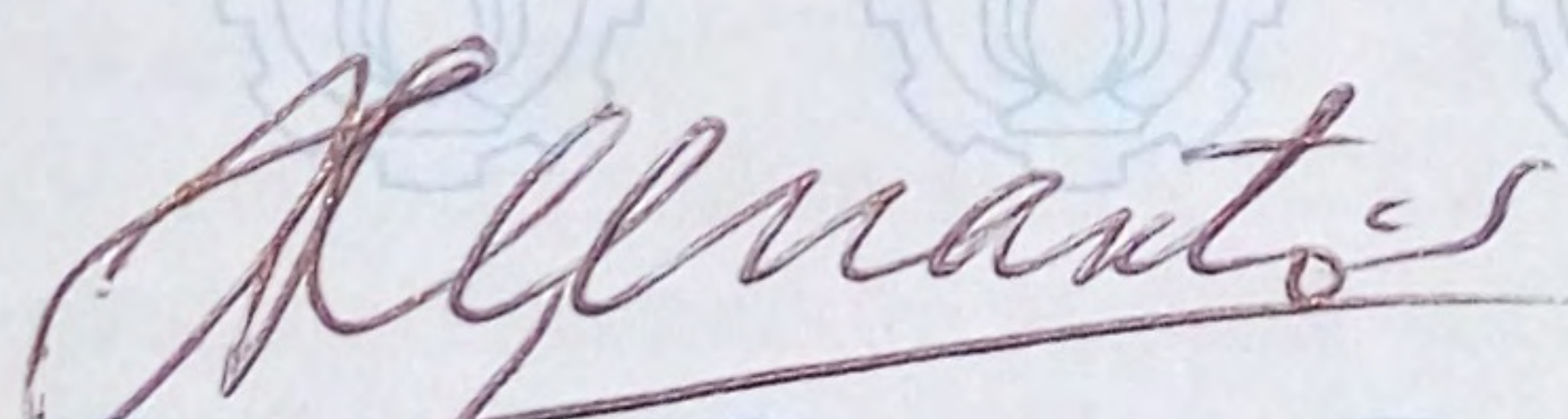
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FITRIA SAWITRI
NRP. 9113202810

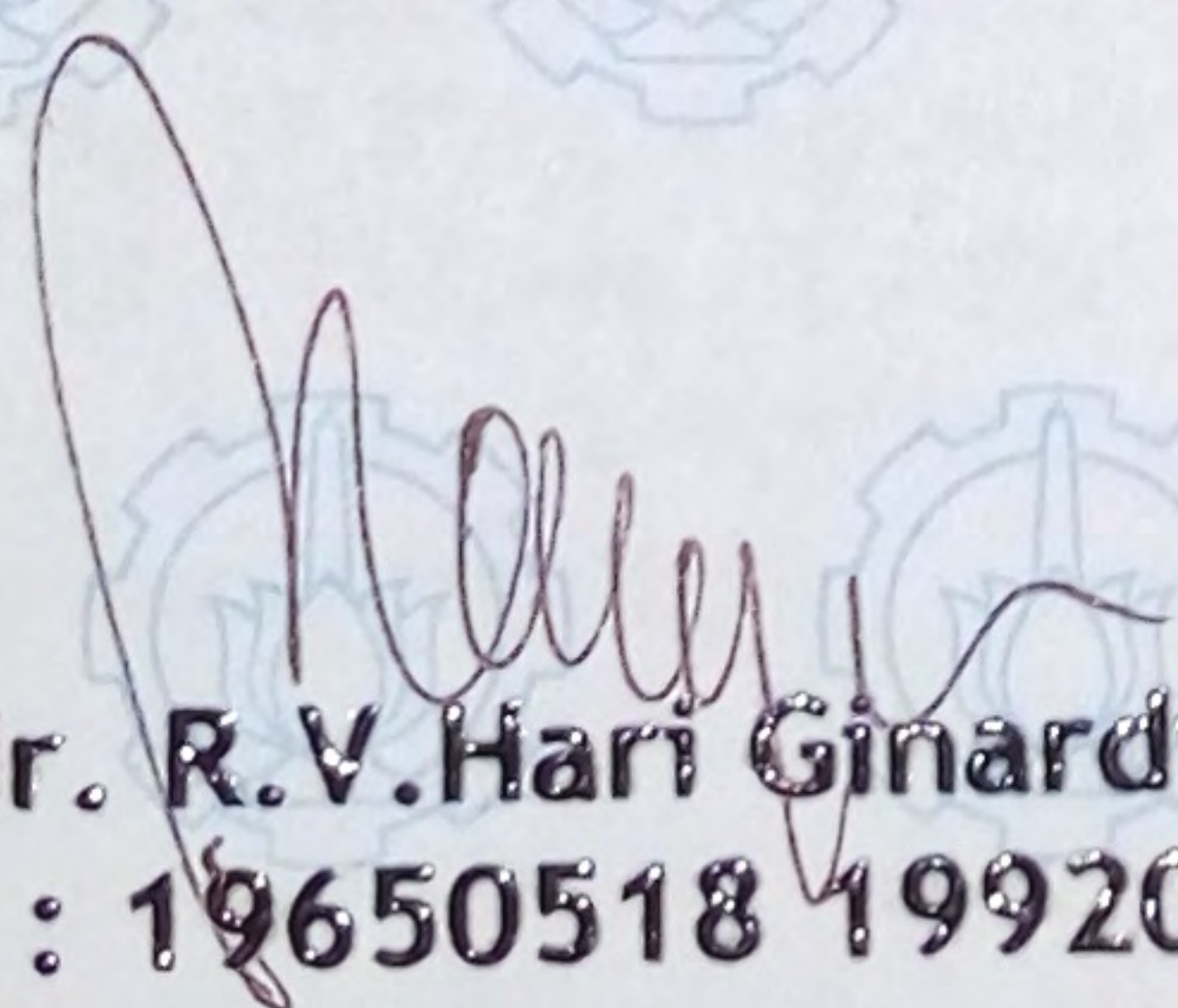
Tanggal Ujian : 27 Juni 2016
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh:



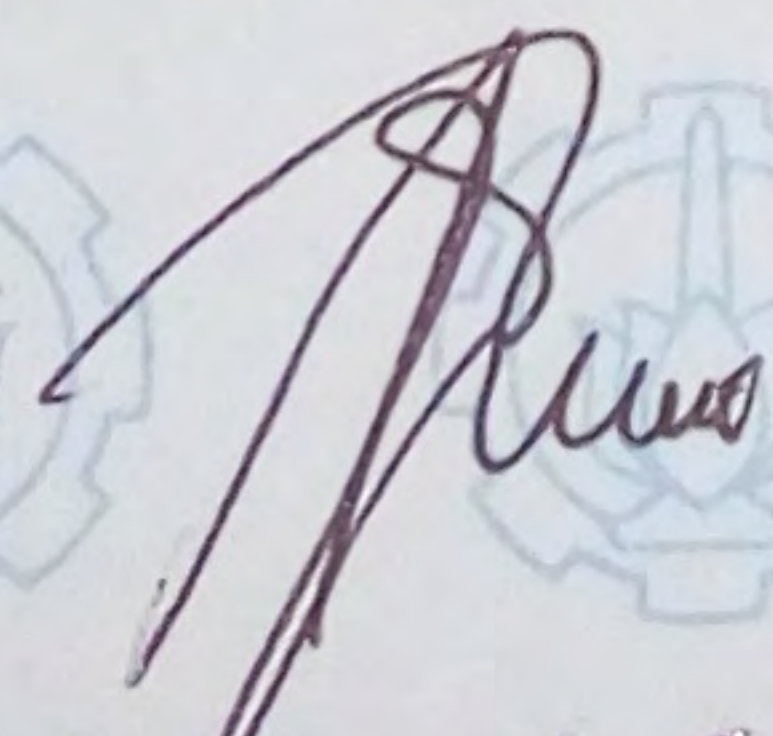
1. Prof. Drs. Ec. Ir. Riyanarto, M.Sc., Ph.D.
NIP : 19590803 198601 1 001

(Pembimbing)



2. Dr. Ir. R.V. Hari Ginardi, M.Sc.
NIP : 19650518 199203 1 003

(Penguji)

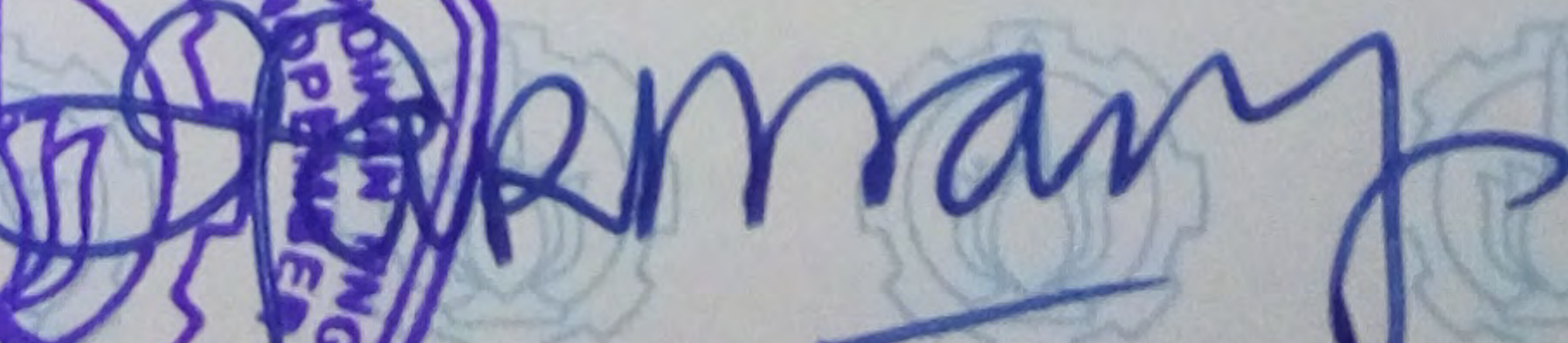


3. Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.
NIP : 19700427 200501 2 001

(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001

Integrasi SIG dan Metode MCDM untuk Evaluasi Penentuan Lokasi PLTS, Studi Kasus di Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur

Nama Mahasiswa : Fitria Sawitri
NRP : 9113202810
Pembimbing : Prof.Drs.Ec.Ir.Riyanarto Sarno, M.Sc.,Ph.D.

ABSTRAK

Tenaga Surya merupakan salah satu energi terbarukan yang menghasilkan energi tak terbatas dan berdampak kecil terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Kabupaten Kupang menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan *Multi Criteria Decision Making* (MCDM), yaitu *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dan *Technique For Others Reference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS).

SIG digunakan untuk melakukan analisis data spasial, representasi dan identifikasi informasi spasial, serta menampilkan lokasi yang bereferensi geografis. AHP digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan dan pembobotan dan TOPSIS digunakan untuk merangking alternatif. Kriteria yang digunakan sebanyak 10 kriteria, yaitu potensi radiasi matahari, arah orientasi, kemiringan, peruntukan lahan, badan air, jarak dari jalan, jarak dari gardu induk/grid, jarak dari permukiman, jarak dari garis pantai, dan kepadatan penduduk.

Hasil akhir menunjukkan alternatif kesesuaian lokasi dibagi menjadi empat kategori, yaitu *very suitable* (sangat sesuai) sebesar 12.106 Ha (2,4 %), *suitable* (sesuai) sebesar 46.990 Ha (9,3%), *moderate suitable* (cukup sesuai) sebesar 37.155 Ha (7,3%), dan *poor* (rendah) sebesar 1.412 (0,3%). Area tidak sesuai sebesar 145.953 Ha (28,8%) dan area dilarang (*constraint*) sebesar 263.010 Ha (51,91%). PLTS terbangun di Kabupaten Kupang seluas 6,24 Ha berada pada lokasi *suitable* (sesuai).

Kata kunci: *PLTS, SIG, MCDM, AHP, TOPSIS, energi terbarukan*

Integration of GIS and MCDM Methods for the Evaluation of Solar Farm Location, Case Study in Kupang Regency, East Nusa Tenggara

By : Fitria Sawitri
Student Identity Number : 9113202810
Promotor : Prof.Drs.Ec.Ir. Riyanarto Sarno, M.Sc.,Ph.D.

ABSTRACT

Solar energy is one of the renewable energy sources that unfinite and low environmental impact. This research studies the combination of Geographic Information System (GIS) and Multi Criteria Decision Making (MCDM), such as Analytic Hierarcy Process (AHP) and Technique For Others Reference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) to evaluate existing solar farm location in Kupang Regency.

GIS will be used to analyzing, representing, and identifying the spatial data, even showing the georeferences area. AHP will be used to obtain the preferences and weights of the criteria and TOPSIS will be used to evaluate the alternatives rangking. There were 10 criteria, such as solar potential radiation, field orientation, slope, land use, water area, distance to roads, distance to power lines, distance to urban area, distance to coastline, and population density.

The final result shows the site selection alternatives were grouped into four categories as very suitable 12.106 hectares (2,4%), suitable 46.990 Ha (9,3%), moderate suitable 37.155 Ha (7,3%), and poor 1.412 (0,3%). 145.953 Ha (28,8%) of the study area is not suitable for solar farm area and 263.010 Ha (51,91%) as constraint areas. The solar farm in Kupang Region that has 6,24 hectares area, it happens to be located in a suitable area.

Key words: *PLTS, SIG, MCDM, AHP, TOPSIS, renewable energy*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK i

ABSTRACT iii

KATA PENGANTAR..... v

DAFTAR ISI..... vii

DAFTAR TABEL x

DAFTAR GAMBAR..... xi

DAFTAR LAMPIRAN xii

BAB 1 PENDAHULUAN..... 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 4

1.3 Tujuan Penelitian 4

1.4 Manfaat Penelitian 4

1.5 Batasan Penelitian 4

1.6 Sistematika Penulisan 5

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 7

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)..... 7

2.2 Photovoltaic 8

2.2.1 Sistem Photovoltaic..... 8

2.2.2 Energi Terbangkitkan..... 8

2.3 Kriteria Penentuan Lokasi PLTS 11

2.3.1 Lingkungan 12

2.3.2 Orografi 13

2.3.3 Lokasi 15

2.3.4	Iklim	16
2.3.5	Sosial	17
2.4	Sistem Informasi Geografis (SIG).....	18
2.4.1	Data spasial.....	20
2.4.2	Format data spasial	21
2.4.3	Sumber Data Spasial.....	22
2.5	Multi Criteria Decision Making (MCDM)	23
2.6	Analytic Hierarcy Process (AHP)	24
2.6.1	Aksioma Model AHP	24
2.6.2	Prinsip Kerja AHP	25
2.6.3	Matriks Perbandingan Berpasangan	26
2.6.4	Langkah – langkah menggunakan metode AHP	28
2.7	Technique For Others Reference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)	29
2.7.1	Prosedur Topsis	29
2.7.2	Langkah-langkah metode TOPSIS	30
2.8	Hubungan TOPSIS dan AHP	31
2.9	Profil dan Kondisi Topografis Kabupaten Kupang	32
2.10	Lokasi PLTS Terbangun di Kabupaten Kupang	32
2.11	Justifikasi Teknis Pemilihan Lokasi	33
2.12	Penelitian Terdahulu.....	33
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1	Menentukan kriteria/ faktor data spasial	37
3.2	Analisa data spasial	40
3.2.1	Faktor Konstrain	41
3.2.2	Faktor, Kriteria, dan Indikator	41
3.3	Menentukan pembobotan setiap kriteria menggunakan metode AHP	43
3.3.1	Menyusun struktur hirarki masalah	43
3.3.2	Penyusunan prioritas	44
3.3.3	Menentukan eigenvector dan eigenvalue	45

3.3.4	Menghitung konsistensi	46
3.4	Menentukan perangkingan alternatif menggunakan metode TOPSIS	46
BAB 4	PEMBAHASAN DAN ANALISIS.....	49
4.1	Analisa data spasial.....	49
4.1.1	Area konstrain	49
4.1.2	Kriteria Penentuan Lokasi PLTS	51
4.2	Pembobotan setiap kriteria	62
4.3	Perangkingan alternatif.....	64
4.4	Lokasi PLTS terbangun terhadap hasil penentuan alternatif kesesuaian lokasi	66
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Potensi Radiasi Matahari dan Durasi Penyinaran di Stasiun Pengamatan Cuaca El Tari Kab. Kupang (NASA, 2016)*	9
Tabel 2.2. Kriteria Penentuan Lokasi PLTS.....	11
Tabel 2.3. Kelas relief sesuai dengan kemiringan lereng	14
Tabel 2.4. Luas Wilayah, Jumlah Penduduk, dan Kepadatan Penduduk Kabupaten Kupang	17
Tabel 2.5 Batas-Batas Koordinat PLTS Terbangun di Kabupaten Kupang	33
Tabel 3.1. Sumber Data dan Keluaran.....	37
Tabel 3.2. Kriteria, Sub-Kriteria dan Indikator	42
Tabel 3.3 Besaran Nilai Indeks Random (RI) (Saaty, 1980).....	46
Tabel 4.1. Zona dan indikator kriteria peruntukan lahan	51
Tabel 4.2. Indikator kemiringan lereng	54
Tabel 4.3. Matriks Perbandingan Berpasangan	62
Tabel 4.4. Matriks Ternormalisasi.....	63
Tabel 4.5. Matriks Normalisasi Terbobot.....	64
Tabel 4.6. Solusi Ideal Positif dan Negatif.....	65
Tabel 4.7. Nilai Separasi dan Solusi Ideal.....	65
Tabel 4.8. Rentang Nilai Alternatif	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Target Kebijakan Energi Nasional (KEN)	3
Gambar 2.1. Potensi Radiasi Matahari dan Durasi Penyinaran di Kabupaten Kupang	10
Gambar 2.2. Radiasi energi surya di permukaan bumi	17
Gambar 2.3. Kemampuan SIG	19
Gambar 2.4. Uraian Subsistem-subsistem SIG	20
Gambar 2.5. Bagan Hirarki AHP	24
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian	39
Gambar 3.2 Bagan Hirarki Penelitian	43
Gambar 4.1. Area Potensial dan Area Konstrain	50
Gambar 4.2 Peta Peruntukan Lahan	52
Gambar 4.3. Peta badan air / jaringan sungai (a) dan Peta buffer zone kriteria badan air (b)	53
Gambar 4.4 Peta Kemiringan Lereng	54
Gambar 4.5. Peta Arah Orientasi	55
Gambar 4.6 Peta jaringan jalan dan buffer zone kriteria jarak terhadap jalan	56
Gambar 4.7. Peta Gardu Induk / Grid PLN dan buffer zone kriteria jarak terhadap GI / Grid PLN	57
Gambar 4.8. Peta permukiman / Kota dan buffer zone kriteria jarak terhadap permukiman / Kota	58
Gambar 4.9 Peta Garis Pantai dan buffer zone kriteria jarak terhadap Garis Pantai	59
Gambar 4.10. Peta Potensi Radiasi Matahari	60
Gambar 4.11. Peta Kepadatan Penduduk	61
Gambar 4.12. Peta Kesesuaian Lokasi PLTS	66
Gambar 4.13 Distribusi Kesesuaian Lokasi PLTS	66
Gambar 4.14 Lokasi PLTS terbangun di Kabupaten Kupang	67

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Perhitungan AHP	77
LAMPIRAN 2 Perhitungan TOPSIS.....	79

BAB 1

PENDAHULUAN

Bab pendahuluan ini berisi hal-hal yang mendasari pelaksanaan penelitian dan pengidentifikasian masalah penelitian. Komponen-komponen yang terdapat dalam bab pendahuluan ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan ruang lingkup penelitian.

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan elemen penting yang dibutuhkan untuk pembangunan berkelanjutan dan kesejahteraan masyarakat. Pada saat ini, lebih dari 80% pengadaan energi utama disediakan oleh bahan bakar fosil (minyak bumi, batubara, dan gas alam). Tingkat konsumsi energi di tingkat dunia disediakan oleh minyak mentah sebanyak 31%, batubara sebanyak 28%, dan gas alam sebanyak 22%. Namun, faktanya cadangan minyak global tidak merata, ini menyebabkan bertambahnya ketidakseimbangan yang akan menimbulkan konflik politik dan ekonomi di masa depan. Konsumsi energi global diproyeksikan akan naik, dari sebanyak 86 juta barrel per hari pada tahun 2007 menjadi 104 juta barel per hari pada tahun 2030. (Brink & Marx, 2013). Menipisnya bahan bakar fosil dan meningkatnya kesadaran tentang pencemaran lingkungan telah meningkatkan penggunaan sumber daya energi terbarukan di abad ke-21 (Lee, Lin, Kang, & Lee, 2012)

Permintaan energi dunia diproyeksikan naik sebesar 49% pada 25 tahun mendatang. Konsumsi minyak bumi diperkirakan akan meningkat dari 86 juta barel per hari pada tahun 2007 menjadi 104 juta barel per hari pada tahun 2030. (Uyan, 2013). Kondisi dunia sekarang telah menyadari bahwa penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi menimbulkan dampak ekonomi (harga bahan bakar minyak yang meningkat), dampak ekologi dan iklim global. Sebagian besar Negara-negara di dunia telah menetapkan beberapa kebijakan untuk mengurangi biaya energi dan mengurnagi polusi dengan mulai membangun sumber energi dari

energi terbarukan. Energi terbarukan adalah sumber energi yang dapat menghasilkan energi tak terbatas (tidak habis) seperti tenaga surya, angin, biomassa, energi panas bumi, dll. Pembangunan sumber energi terbarukan di dunia sedang digalakkan karena sumber energi ini ramah lingkungan, murah, dan tidak menggunakan energi minyak. Salah satu energi terbarukan, yaitu Energi surya muncul sebagai salah satu sumber terbarukan yang berkembang paling pesat di dunia. Keunggulan energi surya dibandingkan dengan energi lainnya adalah ramah lingkungan, mendapatkan insentif pemerintah, lokasi fleksibel dan modularitas. (Uyan, 2013)

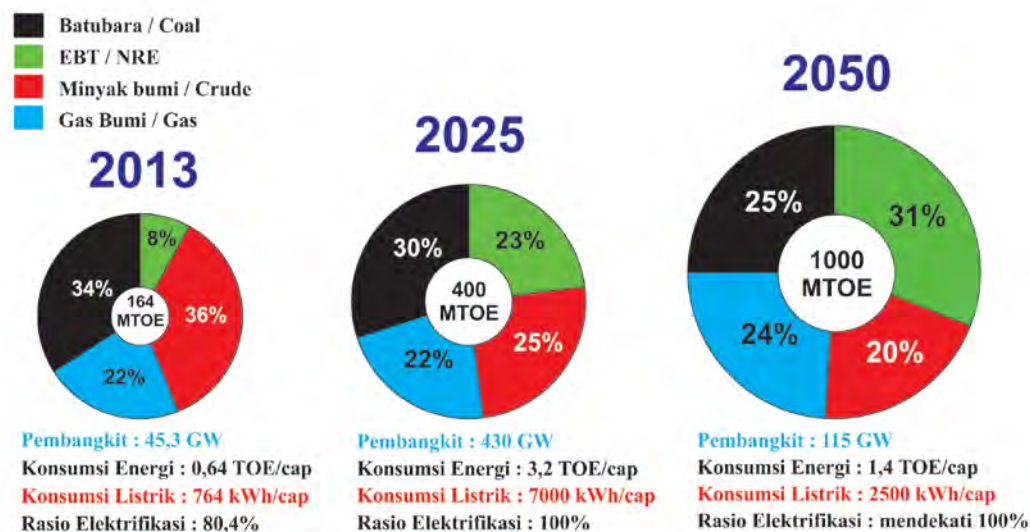
Konsumsi energi di Indonesia, meningkat dari 778 juta SBM pada tahun 2000 menjadi 1.211 juta SBM pada tahun 2013 atau tumbuh rata-rata sebesar 3,46% per tahun. Selama kurun waktu 2000-2013. Adapun Cadangan minyak bumi sebesar 3,6 miliar barel, cadangan batubara sebesar 31,35 miliar ton, dan gas alam sebesar 100,3 TCF. Bila diasumsikan tidak ada penemuan cadangan baru maka minyak bumi akan habis dalam 13 tahun, batubara 72 tahun, dan gas bumi 34 tahun. (Sugiyono, Anindhita, Boedoyo, & Adiarso, 2015)

Konsumsi energi di Indonesia dalam bidang listrik pada tahun 2013, kapasitas total pembangkit listrik nasional sebesar 45,3 GW, dengan rincian pembangkit berbahan bakar minyak bumi sebesar 6,8 GW (15%), batubara sebesar 20 GW (44%), dan gas alam 12 GW (26%), serta dari bahan bakar energi terbarukan sebesar 6,5 GW (15%). Sedangkan pertumbuhan pembangkit listrik sebesar 6,5% per tahun tidak dapat mengimbangi pertumbuhan permintaan listrik sebesar 8,5% (Sugiyono, Anindhita, Boedoyo, & Adiarso, 2015)

Semakin berkurangnya cadangan energi fosil dan meningkatnya kepedulian terhadap lingkungan membawa semangat baik di dunia maupun Indonesia untuk menggunakan dan menemukan energi terbarukan contohnya energi surya, energi angin, energi biomassa, energi panas bumi, energi air, energi mikrohidro, dll sebagai pengganti energi fosil.

Di Indonesia, Pemerintah telah mengeluarkan Kebijakan Energi Nasional (KEN) dalam Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014. KEN yang mengamanatkan prosentase pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional minimal sebesar 23% pada 2025 dan menjadi 31% pada

tahun 2050. sekitar 115 GW pada tahun 2025 dan 430 GW pada tahun 2050. Sedangkan konsumsi energi per kapita pada tahun 2025 ditargetkan sekitar 1,4 TOE/kapita (10,07 SBM/kapita) dan 3,2 TOE/kapita (23,02 SBM/kapita) pada tahun 2050, seperti pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Target Kebijakan Energi Nasional (KEN)

Indonesia sebagai negara tropis yang terletak di 6° LU - 11° LS dan 95° BT - 141° BT mempunyai potensi energi matahari yang tinggi dengan radiasi rata-rata (*insolasi*) sebesar 4,8 kWh/m²/hari (Ditjen EBTKE, 2013). Namun pemanfaatan energi surya sebagai pembangkit tenaga listrik di Indonesia hanya mendapatkan porsi 1% bersamaan dengan PLTB, PLTU biomassa, PLTSa, dan PLT biodiesel, dibandingkan dengan energi hydro sebesar 2%, dan energi panas bumi sebesar 7% dan sisanya sebesar 90% bersumber dari energi fosil.

Dalam rangka meningkatkan kapasitas bahan bakar pembangkit listrik di Indonesia sesuai KEN, pada tahun 2013 Ditjen EBTKE mencanangkan program investasi IPP PLTS sebesar 140 MWp yang tersebar di 80 lokasi di seluruh Indonesia sesuai dengan Surat Keputusan Dirjen EBTKE Nomor 979 K/29/DJE/2013. Salah satu PLTS yang telah selesai dibangun berada di Kupang Nusa Tenggara Timur sebesar 5 MWP dengan luas lahan 6,24 Ha saat ini merupakan PLTS dengan kapasitas terbesar di Indonesia. Namun, hingga saat ini di Indonesia belum pernah ada data penentuan kesesuaian lokasi PLTS yang dipublikasikan. Untuk alasan itu, penelitian ini memilih studi kasus daerah

Kupang, Nusa Tenggara Timur untuk menilai kesesuaian pemilihan lokasi optimal yang paling tepat untuk PLTS. Penentuan kesesuaian lahan ini menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografi (SIG) dan metode MCDM serta disesuaikan dengan peruntukan lahan seperti yang tercantum di Peraturan Daerah Kabupaten Kupang Nomor 1 Tahun 2015 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Kupang Tahun 2014-2034. Untuk selanjutnya penelitian ini dapat digunakan untuk penentuan lokasi PLTS di daerah lain.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan kesesuaian pemilihan lokasi yang optimal untuk pembangunan PLTS dengan mempertimbangkan kriteria teknis, kriteria ekonomi, kriteria lingkungan, dan kriteria sosial.

1.3 Tujuan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini memiliki tujuan untuk menentukan kesesuaian pemilihan lokasi yang optimal untuk pembangunan PLTS berdasarkan prinsip dasar, metode, dan aplikasi SIG yang diintegrasikan dengan metode MCDM

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai melalui penelitian ini adalah menghasilkan analisa kesesuaian lokasi yang optimal untuk pembangunan PLTS sehingga dapat digunakan untuk penentuan lokasi PLTS di daerah lain dan sebagai masukan untuk pemangku kebijakan dalam menyusun peraturan terkait pembangunan PLTS.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut ini adalah batasan yang digunakan dalam pengerjaan penelitian:

1. Aplikasi SIG digunakan untuk menganalisa data spasial dan menampilkan lokasi yang sesuai dan metode MCDM digunakan untuk menentukan lokasi yang optimal. AHP digunakan untuk menghitung bobot kriteria dan TOPSIS digunakan untuk mengevaluasi alternatif.

2. Lokasi PLTS yang akan di evaluasi adalah di Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur.
3. PLTS terbangun memiliki sistem grid connected atau on grid.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian ini akan terdiri dari lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab pendahuluan ini berisi hal-hal yang mendasari pelaksanaan penelitian dan pengidentifikasian masalah penelitian. Komponen-komponen yang terdapat dalam bab pendahuluan ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan ruang lingkup penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka ini merupakan kepustakaan yang relevan dan sesuai dengan topik penelitian, yaitu uraian teori, temuan, dan bahan penelitian lain dijadikan acuan dalam menyelesaikan penelitian tesis.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini disusun secara sistematis yang dijadikan sebagai kerangka penelitian. Proses penelitian diharapkan sesuai dengan apa yang tertuang dalam metodologi penelitian dan hasilnya sesuai dengan apa yang tertulis pada perumusan masalah dan tujuan.

BAB 4 PEMBAHASAN DAN ANALISIS

Bab ini menunjukkan hasil pengolahan data spasial, pembobotan kriteria, dan perankingan alternatif, serta analisisnya. Pengolahan data spasial bertujuan untuk mendapatkan lokasi yang sesuai dengan kriteria, pembobotan kriteria bertujuan untuk mengekspresikan seberapa besar pengaruh suatu kriteria terhadap kriteria lainnya, dan perankingan alternatif bertujuan untuk memberikan hasil optimal terhadap alternatif-alternatif yang muncul.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan kesimpulan dari penelitian ini dan saran peneliti terhadap penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka ini merupakan kepustakaan yang relevan dan sesuai dengan topik penelitian, yaitu uraian teori, temuan, dan bahan penelitian lain dijadikan acuan dalam menyelesaikan penelitian tesis.

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) merupakan pembangkit listrik yang menangkap sinar matahari kemudian mengubahnya menjadi energi listrik. Secara umum teknologi PLTS dalam menghasilkan energi listrik melalui dua cara, yaitu:

1. Solar Thermal

Teknologi solar thermal merupakan teknologi konversi energi radiasi matahari menjadi energi panas / termal dengan menggunakan alat pengumpul/ kolektor panas yang dapat berupa plat datar, cermin, maupun tabung hampa/ konsetrator. Kolektor ini merupakan piranti utama dalam teknologi solar thermal yang berfungsi mengumpulkan dan menyerap radiasi sinar matahari yang kemudian mengkonversinya menjadi energi panas. Ketika cahaya matahari menimpa absorber pada kolektor, sebagian cahaya akan dipantulkan kembali ke lingkungan dan sebagian besar lagi akan diserap dan diubah menjadi panas. Panas tersebut dipindahkan kepada fluida (air atau udara) yang bersikulasi di dalam kolektor kemudian dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi yang membutuhkan panas termasuk sebagai pembangkit listrik.

2. Solar Photovoltaic

Teknologi solar photovoltaic merupakan teknologi yang mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Alat yang digunakan untuk menangkap dan merubah tenaga matahari menjadi tenaga listrik ini adalah photovoltaic (PV) yang sering disebut sebagai panel solar sel.

2.2 Photovoltaic

Photovoltaic dapat diartikan sebagai suatu sistem atau cara langsung (direct) untuk mentransfer radiasi matahari atau energi cahaya menjadi energi listrik yang bekerja dengan prinsip efek photovoltaic (Goetzberger A., 2005). Efek photovoltaic adalah suatu fenomena munculnya voltase listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat diexpose di bawah energi cahaya (Goetzberger A., 2005).

2.2.1 Sistem Photovoltaic

Sistem photovoltaic dibedakan menjadi 2 sistem, yaitu sistem stand alone dan sistem grid connector.

1. Sistem stand alone

Sistem stand alone adalah sistem photovoltaic yang tidak terhubung dengan jaringan grid. Dalam sistem ini pemenuhan kebutuhan beban sangat bergantung pada PV. Untuk menjaga stabilitas energi, sistem ini membutuhkan storage energi berupa baterai, baterai ini difungsikan sebagai penyimpan daya yang dikonversi oleh PV yang kemudian dihubungkan ke beban.

2. Sistem grid connected

Sistem grid connected adalah sistem photovoltaic yang dihubungkan dengan sumber listrik umum atau jaringan grid PLN. Pada sistem ini tidak diperlukan baterai, karena pada saat kekurangan daya, maka akan disuplai dari jaringan listrik yang sudah ada.

Dalam penelitian ini PLTS terbangun di Kabupaten Kupang menggunakan sistem grid connected.

2.2.2 Energi Terbangkitkan

Dalam penelitian ini panel solar sel yang digunakan merupakan jenis poly crystalline yang dihasilkan oleh PT Len Industri dengan daya tiap panel solar sel sebesar 230 Wp. Untuk mendapatkan kapasitas pembangkit diperlukan perhitungan Equivalent Sun Hour (ESH) dan Potensi Loss Energi.

1. Equivalent Sun Hour (ESH)

Parameter ESH digunakan untuk menghitung rata-rata jumlah penyinaran energi setiap hari. Besaran data ESH ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti lama penyinaran dalam satu hari apakah pagi, siang, atau sore hari, dan tutupan awan, apakah cerah ataupun mendung.

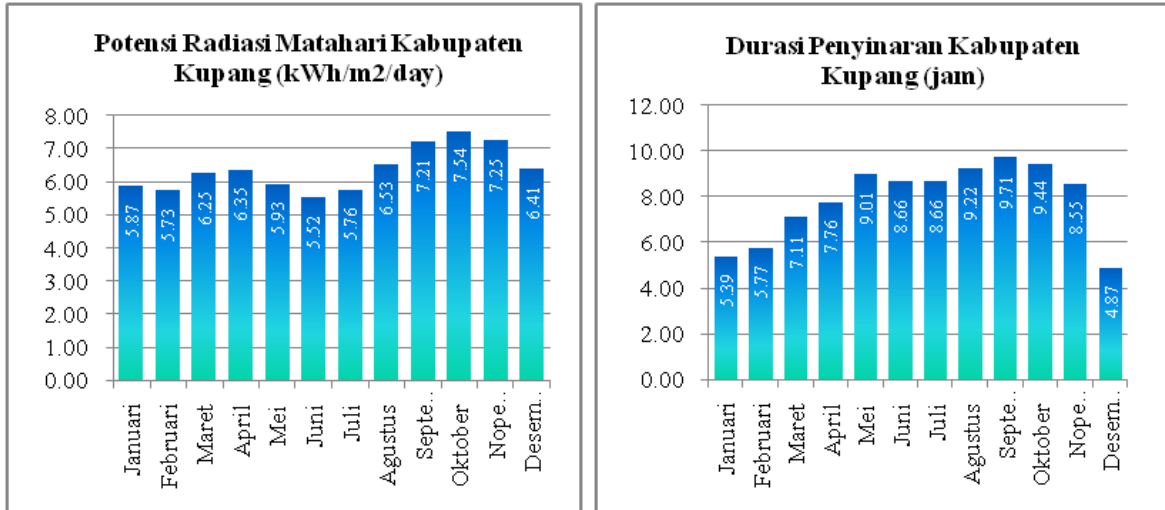
Potensi radiasi matahari dan durasi penyinaran yang diambil di Kabupaten Kupang berdasarkan data dari NASA seperti pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.1 berikut.

Tabel 2.1. Potensi Radiasi Matahari dan Durasi Penyinaran di Stasiun Pengamatan Cuaca El Tari Kab. Kupang (NASA, 2016)*

Bulan	Radiasi Matahari (KWh/m ² /day)	Durasi Penyinaran (jam)
Januari	5,87	5.39
Februari	5,73	5.77
Maret	6,25	7.11
April	6,35	7.76
Mei	5,93	9.01
Juni	5,52	8.66
Juli	5,76	8.66
Agustus	6,53	9.22
September	7,21	9.71
Oktober	7,54	9.44
November	7,25	8.55
Desember	6,41	4.87
Rata-rata radiasi matahari tahunan sebesar 6,36 KWh/m ² /day		
Radiasi matahari tertinggi 7,54 KWh/m ² /day (Bulan Oktober) dan insolasi terendah 5,52 KWh/m ² /day (Bulan Juni)		
Rata-rata durasi penyinaran tahunan sebesar 7,85 jam		
Durasi penyinaran tertinggi 9,71 jam (Bulan September) dan		

Bulan	Radiasi Matahari (KWh/m ² /day)	Durasi Penyinaran (jam)
durasi penyinaran terendah 4,87 (Bulan Desember)		

* data diambil bulan mei 2016



Gambar 2.1. Potensi Radiasi Matahari dan Durasi Penyinaran di Kabupaten Kupang

Berdasarkan nilai rata-rata insolasi tahunan di Kabupaten Kupang dan diasumsikan konstanta insolasi sebesar 1000 W/m², maka besaran ESH adalah

$$\begin{aligned}
 ESH &= \text{Insolasi rata-rata} \times \text{konstanta insolasi standar} \\
 &= 6,38 \times 1000 / 1000 \\
 &= 6,38 \text{ jam/hari}
 \end{aligned}$$

2. Potensi Loss Energi

Potensi kehilangan energi listrik pada panel solar sel dipengaruhi oleh

a. Temperature loss pada panel solar sel

Panel solar sel yang terpasang di PLTS Kabupaten Kupang menghasilkan daya sesuai dengan daya maksimalnya pada temperatur permukaan panel sebesar 25°. Ketika temperatur permukaan panel melebihi 25° maka terjadi pengurangan daya sebesar 0,5% dari daya maksimal. Rumus penghitungan temperature loss adalah

$$\text{temperature loss} = 0,5\% \times ((\text{air temperature} + 15^\circ) - 25^\circ)$$

b. Efisiensi grid connector inverter

Efisiensi grid connector inverter yang terpasang di PLTS Kabupaten Kupang sebesar 98%, sehingga loss yang terjadi sebesar 2%

c. *Cable loss*

Penghitungan cable loss berdasarkan jarak dan resistansi kabel, semakin dekat jarak antara PLTS dengan grid, maka loss yang dihasilkan semakin kecil.

d. Modul array mismatch loss

Modul *array mismatch loss* merupakan *loss* yang terjadi pada saat pemasangan panel solar sel, dimana jika panel solar sel yang dipasang memiliki tegangan yang berbeda dipasang secara paralel, sehingga panel solar sel yang memiliki tegangan yang lebih tinggi akan mengikuti panel solar sel yang memiliki tegangan lebih rendah.

e. *Array soiling loss*

Array soiling loss dapat terjadi akibat adanya debu atau kotoran yang menutupi panel solar sel.

2.3 Kriteria Penentuan Lokasi PLTS

Kriteria adalah aspek terukur dari sebuah keputusan, yang memungkinkan untuk mengkarakterisasi dan mengukur alternatif dalam menentukan sebuah keputusan (Carrion, Estrella, Dols, Toro, Rodriguez, & Ridao, 2008).

Pemilihan kriteria evaluasi dipilih berdasarkan tujuan yang akan dicapai dan literatur mengenai beberapa studi kasus penentuan lokasi EBT yang menggunakan SIG-MCDM sebelumnya. Dalam penelitian ini terdapat 5 kriteria dan 10 sub-kriteria, seperti dalam Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2. Kriteria Penentuan Lokasi PLTS

Kriteria	Sub-Kriteria
Lingkungan	C1 - Peruntukan Lahan
	C2 - Badan Air
Orografi	C3 – Kemiringan lereng (%)
	C4 – Orientasi lereng

Kriteria	Sub-Kriteria
Lokasi (Aspek Ekonomi)	C5 - Jarak terhadap jalan
	C6 - Jarak terhadap Gardu Induk / grid PLN
	C7 - Jarak terhadap permukiman / kota
	C8 - Jarak terhadap laut / garis pantai
Iklim	C9 – Potensi Radiasi Matahari
Sosial	C10 – Kepadatan Penduduk

2.3.1 Lingkungan

Kriteria lingkungan dibagi menjadi sub-kriteria peruntukan lahan dan badan air.

1. Peruntukan Lahan

Lahan merupakan keseluruhan kemampuan muka daratan beserta segala gejala di bawah permukaannya yang bersangkutan paut dengan pemanfaatannya bagi manusia (Tejoyuwono, 1986). Peruntukan lahan adalah suatu upaya dalam merencanakan penggunaan lahan dalam suatu kawasan yang meliputi pembagian wilayah untuk pengkhususan fungsi-fungsi tertentu.

Sesuai dengan RTRW Kabupaten Kupang, peruntukan lahan dibagi menjadi dua yaitu kawasan lindung dan kawasan budidaya.

Kawasan lindung adalah wilayah yang ditetapkan dengan fungsi utama melindungi kelestarian lingkungan hidup yang mencakup sumberdaya alam dan sumberdaya buatan. Kawasan lindung dibagi menjadi 7 kawasan, yaitu kawasan hutan lindung, Kawasan yang memberi perlindungan terhadap kawasan bawahannya (meliputi kawasan bergambut dan kawasan resapan air, Kawasan perlindungan setempat (meliputi sempadan pantai, sempadan sungai. Daerah sekitar waduk, atau danau, dan kawasan lindung spiritual dan kaerifan lokal), Kawasan suaka alam, pelestarian alam dan cagar budaya, Kawasan rawan bencana alam, Kawasan lindung geologi, Kawasan lindung lainnya. Untuk selanjutnya kawasan lindung dijadikan area konstrain keseluruhannya.

Kawasan budidaya adalah wilayah yang ditetapkan dengan fungsi utama untuk dibudidayakan atas dasar kondisi dan potensi sumberdaya alam, sumberdaya manusia dan sumberdaya buatan. Kawasan budidaya selanjutnya dibagi menjadi 10 kawasan peruntukan, yaitu peruntukan hutan produksi, peruntukan hutan rakyat, peruntukan pertanian, peruntukan perikanan, peruntukan pertambangan, peruntukan industri, peruntukan pariwisata, peruntukan permukiman, peruntukan wilayah pesisir, dan peruntukan lainnya.

2. Badan Air

Badan air adalah kumpulan air di atas tanah yang membentuk luasan yang tergantung pada relief permukaan bumi, berupa danau, waduk, sungai besar dan sungai kecil.

2.3.2 Orografi

Kriteria orografi dibagi menjadi sub-kriteria kemiringan dengan satuan persen (%) dan orientasi lereng.

1. Kemiringan lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horisontal dan tidak terlindungi (Das 1985). Kemiringan lereng adalah sudut miring antara dua titik. Informasi kemiringan lereng didapat dari data garis kontur yang dihasilkan dari data titik tinggi. Garis kontur adalah garis khayal pada peta yang menghubungkan titik-titik ketinggian yang sama.

Menurut (Zuidam, 1985) kemiringan lereng (S) dapat dihitung dari perbandingan perbedaan ketinggian (Δh) dengan jarak datar (d) yang terbentuk (jarak titik tertinggi dengan titik terendah). Perhitungan ini ditampilkan sebagai berikut:

$$S = \left(\Delta h / d \right) \times 100\%$$

Hasil dari perhitungan Van Zuidam menghasilkan kelas lereng yang dibagi menjadi 6 kelas, seperti Tabel 2.3 berikut

Tabel 2.3. Kelas relief sesuai dengan kemiringan lereng

Kelas Relief	Kemiringan Lereng (%)	Kondisi Lereng
Datar - Hampir datar	0 - 2	Datar atau hampir datar, dengan proses denudasional yang tidak cukup besar dan pengikisan permukaan yang tidak intensif dibawah kondisi kering.
Berombak	3 - 7	Sedikit miring (gently slope), dengan pergerakan massa berkecepatan rendah dari berbagai proses periglacial, solifluction dan fluvial.
Berombak - Bergelombang	8 - 13	Miring (sloping), memiliki kondisi yang hampir sama dengan gently slope, namun lebih mudah mengalami pengikisan permukaan, dengan erosi permukaan yang intensif.
Bergelombang - Berbukit	14 - 20	Agak curam (moderately steep), semua jenis pergerakan massa terjadi, terutama periglacial-solifluction, rayapan, pengikisan dan adakalanya land slide.
Berbukit - Pegunungan	21 - 55	Curam (steep), proses denudasional dari semua jenis terjadi secara intensif (erosi, rayapan, dan pergerakan lereng)
Pegunungan curam	55 - 140	Sangat curam (very steep), proses denudasional terjadi secara intensif.
pegunungan sangat curam	> 140	Curam ekstrem (extremely steep), proses denudasional sangat kuat, terutama "wall denudational"

2. Orientasi Lereng

Orientasi Lereng adalah komponen arah dari vektor gradien dan arah gradien maksimum di atas permukaan pada suatu titik tertentu (Smith, Goodchild, & Longley, 2015). Orientasi lereng ini menunjukkan arah kompas dimana lereng menghadap. Arah orientasi lereng mempengaruhi vegetasi, paparan radiasi matahari, kisaran suhu harian, dan kelembaban relatif.

Orientasi lereng dihitung dengan satuan derajat dari arah utara (azimuth), sehingga 0° mengarah ke utara, 90° mengarah ke timur, 180° mengarah ke selatan, dan 270° mengarah ke barat. Azimuth adalah sudut mendatar yang dihitung dari arah utara magnet bumi ke titik yang dimaksud searah jarum jam.

Data raster orientasi lereng dihitung menggunakan algoritma slope menggunakan *cell* ukuran 3x3. Untuk menghitung arah orientasi pada titik F diperlukan data ketinggian pada titik A, B, C, E, G, I, J, dan K.

A	B	C	D
E	F	G	H
I	J	K	L
M	N	O	P

Rumus untuk poros X (east-west)

$$\Delta X = \frac{((Z_C + 2 \times Z_G + Z_K) - (Z_A + 2 \times Z_E + Z_I))}{8 \times \text{ukuran cell}}$$

Rumus untuk poros Y (north-south)

$$\Delta Y = \frac{((Z_A + 2 \times Z_B + Z_C) - (Z_I + 2 \times Z_J + Z_K))}{8 \times \text{ukuran cell}}$$

Orientasi lereng digunakan untuk menentukan efisiensi panel surya agar terkena sinar matahari yang maksimum.

2.3.3 Lokasi

Kriteria lokasi dalam penelitian ini merupakan kriteria untuk menyelesaikan masalah di bidang teknik dilihat dari segi ekonomi. Kriteria lokasi ini dibagi menjadi sub-kriteria sebagai berikut:

1. Jarak terhadap jalan

Kriteria jarak terhadap jalan mendasari pengambilan keputusan berdasarkan pertimbangan semakin dekat lokasi PLTS terhadap jalan, dapat mengurangi biaya operasional (Tahri, Hakdaoui, & Maanan, 2015).

2. Jarak terhadap gardu induk / grid PLN

Kriteria jarak terhadap gardu induk / grid PLN mendasari pengambilan keputusan berdasarkan pertimbangan semakin dekat PLTS dengan gardu

induk / grid PLN, dapat mengurangi biaya penghantar dan mengurangi kehilangan energy listrik.

3. Jarak terhadap permukiman / kota

Kriteria jarak terhadap permukiman / kota mendasari pengambilan keputusan berdasarkan pertimbangan semakin jauh lokasi PLTS, dapat mengurangi dampak negatif lingkungan pada pertumbuhan dan populasi penduduk kota (Uyan, 2013).

4. Jarak terhadap laut / pantai

Panel sel surya yang digunakan di PLTS dalam penelitian ini berjenis *polycrystalline* yang tidak tahan korosi yang disebabkan udara dengan kadar garam yang tinggi. Untuk itu, kriteria jarak terhadap laut / pantai mendasari pengambilan keputusan berdasarkan pertimbangan semakin jauh lokasi PLTS dengan laut / pantai dapat mengurangi laju korosi panel sel surya.

2.3.4 Iklim

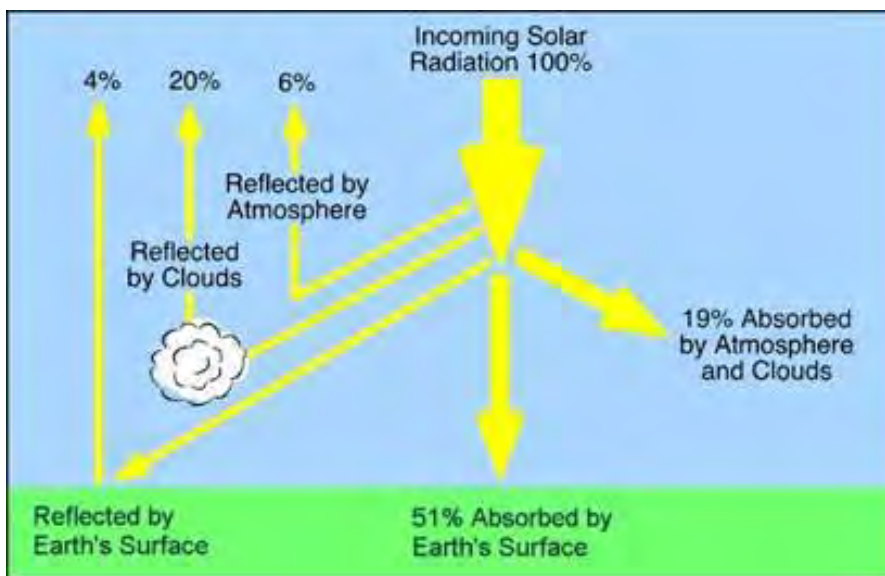
Radiasi surya yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dalam sistem konversi energy surya adalah jumlah radiasi surya yang mencapai permukaan bumi, yaitu konstanta surya dikurangi intensitas radiasi akibat penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai bumi (Nurliyanti, Pandin, & Pranoto, 2012).

Total radiasi surya yang diterima oleh suatu area di permukaan bumi atau disebut juga sebagai radiasi global terbagi atas dua komponen, yaitu:

- a. Radiasi langsung, yaitu radiasi yang diterima langsung dari sorotan matahari
- b. Radiasi sebaran / baur atau disebut juga radiasi langit, yaitu radiasi yang dipancarkan ke permukaan penerima oleh molekulmolekul di dalam atmosfer (gas, debu, uap air/awan).

Ukuran energi radiasi surya yang mencapai bumi dapat dinyatakan dengan kepadatan daya di suatu permukaan daerah penerima pada waktu tertentu dan dinyatakan dengan satuan kWh/m^2 atau MJ/m^2 .

Data energi radiasi surya diperoleh dari dikembangkan oleh National Aeronautics Space Administration (NASA) melalui program *Surface meteorology and Solar Energy* (SSE). Basis data ini menyediakan data radiasi surya dengan resolusi sebesar 10 atau setara dengan area 110 km x 110 km.



Gambar 2.2. Radiasi energi surya di permukaan bumi

2.3.5 Sosial

Kriteria sosial dalam cakupan pembangunan PLTS dalam penelitian ini merupakan kriteria yang didasarkan pada kepadatan penduduk. Penduduk adalah semua orang yang berdomisili di wilayah geografis Republik Indonesia selama 6 bulan atau lebih dan atau mereka yang berdomisili kurang dari 6 bulan tetapi bertujuan untuk menetap (BPS, 2016). Kepadatan penduduk dihitung dengan banyaknya penduduk dibagi dengan luas wilayah. Dalam penelitian ini diasumsikan semakin tinggi kepadatan penduduk, kebutuhan akan energi semakin besar.

Tabel 2.4. Luas Wilayah, Jumlah Penduduk, dan Kepadatan Penduduk Kabupaten Kupang

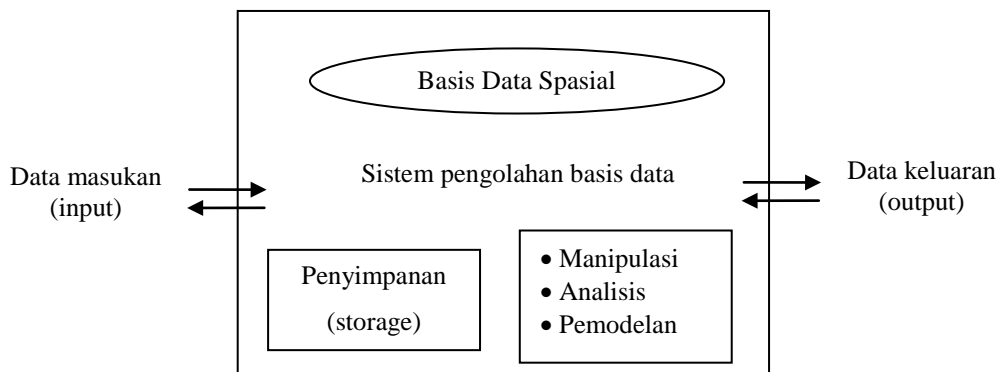
No	Kecamatan	Luas Wilayah (km ²)	Penduduk	Kepadatan Penduduk per km ²
1	Semau	122.98	6933	56.38

No	Kecamatan	Luas Wilayah (km ²)	Penduduk	Kepadatan Penduduk per km ²
2	Semau Selatan	100.85	4989	49.47
3	Kupang Barat	136.50	16870	123.59
4	Kupang Tengah	96.64	41607	430.54
5	Kupang Timur	207.69	49985	240.67
6	Nekamese	133.18	9265	69.57
7	Taebenu	125.69	16571	131.84
8	Amarasi	164.78	15857	96.23
9	Amarasi Barat	189.11	14676	77.61
10	Amarasi Selatan	156.61	10609	67.74
11	Amarasi Timur	175.00	7441	42.52
12	Amabi Oefeto Timur	246.38	13370	54.27
13	Amabi Oefeto	150.12	8323	55.44
14	Sulamu	304.63	14985	49.19
15	Fatuleu	346.26	24749	71.48
16	Fatuleu Barat	457.25	8887	19.44
17	Fatuleu Tengah	92.48	5254	56.81
18	Takari	545.60	20912	38.33
19	Amfoang Selatan	244.46	8866	36.27
20	Amfoang Barat Daya	202.84	4440	21.89
21	Amfoang Utara	129.64	7149	55.15
22	Amfoang Barat Laut	318.59	8934	28.04
23	Amfoang Timur	452.71	7891	17.43
24	Amfoang Tengah	331.24	5626	16.98
		5,431.23	334189	79.45

2.4 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (*Geographic Information System* / SIG) yang selanjutnya akan disebut SIG merupakan sistem informasi berbasis komputer

yang digunakan untuk mengolah dan menyimpan data atau informasi geografis. SIG merupakan sistem komputer yang memiliki empat kemampuan dalam menangani data yang bereferensi geografi, yaitu masukan, manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan data), analisis dan manipulasi cara, serta keluaran (Aronoff, 1989).



Gambar 2.3. Kemampuan SIG

SIG dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan dan menganalisis objek-objek dan fenomena dimana lokasi geografis merupakan karakteristik yang penting atau kritis untuk dianalisis. Dengan demikian, SIG merupakan sistem komputer yang memiliki empat subsistem berikut dalam menangani data yang bereferensi geografi (Prahasta, 2001).

1. *Data Input* (Data Masukan)

Subsistem ini bertugas untuk mengumpulkan dan mempersiapkan data spasial dan atribut dari berbagai sumber. Subsistem ini pula yang bertanggung jawab dalam mengkonversi atau mentransformasikan format-format data-data aslinya ke dalam format yang dapat digunakan oleh SIG.

2. *Data Output* (Data Keluaran)

Subsistem ini menampilkan atau menghasilkan keluaran seluruh atau sebagian basisdata baik dalam bentuk *hardcopy* seperti tabel, grafik, peta dan lain-lain.

3. Manajemen Data

Subsistem ini mengorganisasikan baik data spasial maupun atribut ke dalam sebuah basisdata sedemikian rupa sehingga mudah dipanggil, di-*update* dan di-*edit*.

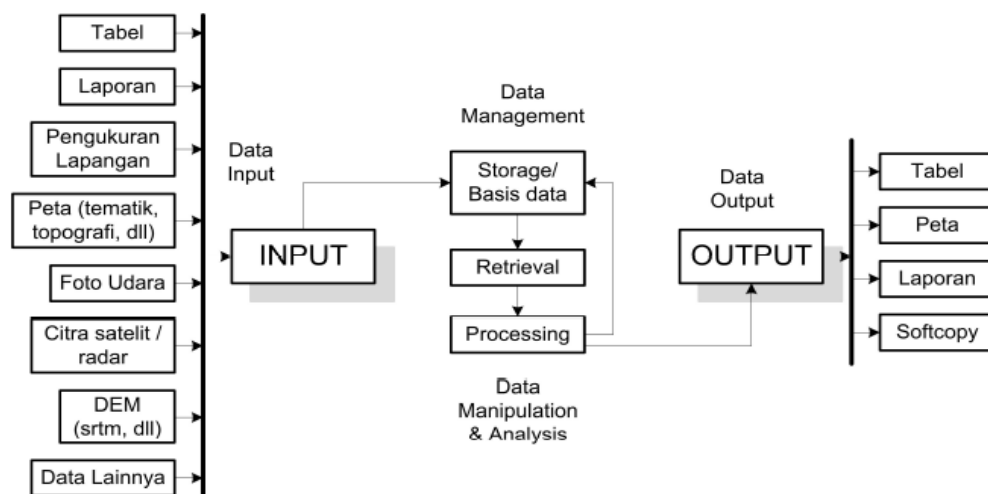
4. Manipulasi dan Analisis Data

Subsistem ini menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh SIG. selain itu, subsistem ini juga melakukan manipulasi dan pemodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan.

Analisa SIG adalah seni dan ilmu menggunakan SIG untuk mengkombinasi fungsi-fungsi analisa data dalam sistem untuk menghasilkan informasi yang diinginkan.

Beberapa fungsi SIG, yaitu:

1. Memperbaiki dan menganalisis data spasial
2. Memperbaiki dan menganalisis data atribut
3. Menganalisa integrasi data spasial dan atribut
4. Format keluaran



Gambar 2.4. Uraian Subsistem-subsistem SIG

2.4.1 Data spasial

Sebagian besar data yang akan ditangani dalam SIG merupakan *data spasial*, data yang berorientasi geografis. Data ini memiliki sistem koordinat tertentu sebagai dasar referensinya dan mempunyai dua bagian penting yang berbeda dari data lain, yaitu informasi lokasi/posisi/koordinat/grafis (spasial) dan informasi deskriptif (atribut) yang dijelaskan berikut ini :

1. Informasi lokasi/posisi/koordinat/grafis (spasial), merupakan data yang merepresentasikan permukaan bumi / keruangan yang bereferensi geografis.
2. Informasi deskriptif (atribut) atau informasi nonspasial, merupakan data yang merepresentasikan aspek-aspek deskriptif dari data yang dimodelkannya, contohnya jenis vegetasi, populasi, luasan, kode pos, dan sebagainya.

2.4.2 Format data spasial

Secara sederhana *format* dalam bahasa komputer berarti bentuk dan kode penyimpanan data yang berbeda antara *file* satu dengan lainnya. Dalam SIG, data spasial dapat direpresentasikan dalam dua format, yaitu:

a. Data vektor

Informasi posisi point, garis dan polygon disimpan dalam bentuk x,y koordinat. Suatu lokasi point dideskripsikan melalui sepasang koordinat x,y. Bentuk garis , seperti jalan dan sungai dideskripsikan sebagai kumpulan dari koordinat-koordinat point. Bentuk poligon, seperti zona project disimpan sebagai pengulangan koordinat yang tertutup.

b. Data raster

Model data ini terdiri dari sekumpulan grid/sel seperti peta hasil scanning maupun gambar/image. Masing-masing grid/sel atau pixel memiliki nilai tertentu yang bergantung pada bagaimana image tersebut digambarkan. Sebagai contoh, pada sebuah image hasil penginderaan jarak jauh dari sebuah satelit, masing – masing pixel direpresentasikan sebagai panjang gelombang cahaya yang dipantulkan dari posisi permukaan bumi dan diterima oleh satelit dalam satuan luas tertentu yang disebut pixel.

Pada image hasil scanning, masing – masing pixel merepresentasikan keterangan nilai yang berasosiasi dengan point-point tertentu pada image hasil scanning tersebut. Dalam SIG, setiap data Geografis memiliki data tabular yang berisi informasi spasial . Data tabular tersebut dapat direlasikan oleh SIG dengan sumber data lain seperti basis data yang berada diluar tools SIG.

2.4.3 Sumber Data Spasial

Salah satu syarat SIG adalah data spasial. Data spasial dapat diperoleh dari beberapa sumber (Puntodewo, Dewi, & Tarigan, 2003) antara lain:

a. Sumber data dari peta analog

Sumber data dari peta analog antara lain peta topografi, peta tanah, dan sebagainya. Peta analog yaitu peta dalam bentuk cetakan. Umumnya peta analog dibuat dengan teknik kartografi, sehingga bereferensi spasial seperti koordinat, skala, arah mata angin, dan sebagainya. Dalam tahapan SIG sebagai keperluan sumber data, peta analog dikonversi menjadi peta digital. Caranya dengan mengubah format raster menjadi format vektor melalui proses digitasi sehingga dapat menunjukkan koordinat sebenarnya di permukaan bumi.

b. Sumber data dari Sistem Penginderaan Jauh

Data penginderaan jauh, seperti hasil citra satelit, foto-udara dan sebagainya, merupakan sumber data yang terpenting bagi SIG. Karena ketersediaan data secara berkala dan mencakup area tertentu. Dengan adanya bermacam-macam satelit di ruang angkasa dengan spesifikasi masing-masing, kita bisa memperoleh berbagai jenis citra satelit untuk beragam tujuan pemakaian. Data ini biasanya direpresentasikan dalam format raster.

c. Sumber data dari hasil pengukuran lapangan

Salah satu sumber data spasial dari hasil pengukuran lapangan berasal dari survei GPS. Teknologi GPS memberikan terobosan penting dalam menyediakan data bagi SIG. Keakuratan pengukuran GPS semakin tinggi dengan berkembangnya teknologi. Data ini merupakan data titik koordinat (poin) dan biasanya direpresentasikan dalam format vektor.. Selain dari survey GPS, data hasil pengukuran lapangan dapat berupa data batas

administrasi, batas kepemilikan tanah, batas persil, batas penguasaan hutan, dan sebagainya.

2.5 Multi Criteria Decision Making (MCDM)

Menurut (Zeleny, 1982) MCDM adalah prosedur yang digunakan untuk mencari alternatif terbaik dari berbagai alternatif yang layak (Wu & Geng, 2014). Menurut (Voogd, 1983) MCDM merupakan sebuah teknik untuk memilih alternatif terbaik dari berbagai kriteria, dimana memungkinkan beberapa kriteria bertolak belakang dan memiliki konflik (Watson & Hudson, 2015).

Beberapa karakteristik MCDM antara lain:

- Terdiri dari beberapa kriteria atau atribut
- Beberapa kriteria biasanya mempunyai konflik antara satu dengan yang lainnya
- Terdapat ketidakpastian, misalnya penilaian yang subyektif, ketidakpastian data serta informasi yang tidak lengkap.
- Kadangkala terjadi hasil akhir tidak memberikan kesimpulan.
- Alternatif, alternatif adalah obyek-obyek yang berbeda dan memiliki kesempatan yang sama untuk dipilih oleh pengambil keputusan.
- Alternatif dan kriteria dalam MCDM dapat digambarkan pada matriks keputusan di bawah ini, dimana matriks keputusan M yang berukuran $m \times n$, berisi elemen-elemen z_{ij} terdapat m alternatif dan n kriteria

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} w_1 & w_2 & \dots & w_n \end{matrix} \\ & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ z_{m1} & z_{m2} & \dots & z_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

dimana

$A_1 \ A_2 \ \dots \ A_m$ = alternatif

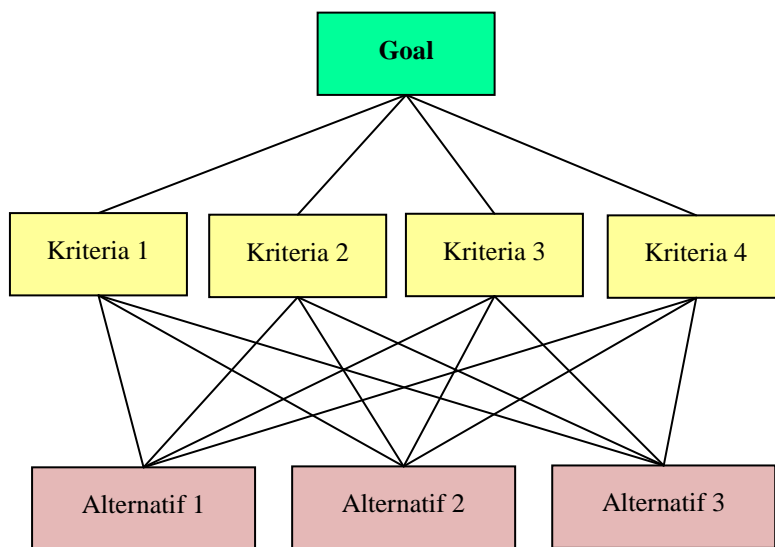
$C_1 \ C_2 \ \dots \ C_n$ = kriteria evaluasi

z_{ij} = nilai alternatif A_i dari kriteria C_j

w_j = bobot kriteria C_j

2.6 Analytic Hierarchy Process (AHP)

Pada hakekatnya AHP merupakan suatu model sistem pendukung keputusan (SPK) yang komprehensif dengan memperhitungkan hal-hal yang bersifat kualitatif dan kuantitatif. Dalam model SPK dengan AHP pada dasarnya berusaha menutupi semua kekurangan dari model-model sebelumnya. AHP juga memungkinkan ke struktur suatu sistem dan lingkungan kedalam komponen saling berinteraksi dan kemudian menyatukan mereka dengan mengukur dan mengatur dampak dari komponen kesalahan sistem (Saaty, 2001).



Gambar 2.5. Bagan Hirarki AHP

2.6.1 Aksioma Model AHP

Peralatan utama dari model ini adalah sebuah hirarki fungsional dengan input utamanya adalah persepsi manusia. Jadi perbedaan yang mencolok model AHP dengan model lainnya terletak pada jenis inputnya. Terdapat 4 aksioma-aksioma yang terkandung dalam model AHP, yaitu :

1. *Reciprocal Comparison* artinya pengambilan keputusan harus dapat memuat perbandingan dan menyatakan preferensinya. Preferensi tersebut harus memenuhi syarat resiprokal yaitu apabila A lebih disukai daripada B dengan skala x , maka B lebih disukai daripada A dengan skala $1/x$
2. *Homogeneity* artinya preferensi seseorang harus dapat dinyatakan dalam skala terbatas atau dengan kata lain elemen-elemennya dapat dibandingkan

satu sama lainnya. Kalau aksioma ini tidak dipenuhi maka elemen- elemen yang dibandingkan tersebut tidak homogen dan harus dibentuk cluster (kelompok elemen) yang baru

3. *Independence* artinya preferensi dinyatakan dengan mengasumsikan bahwa kriteria tidak dipengaruhi oleh alternatif-alternatif yang ada melainkan oleh objektif keseluruhan. Ini menunjukkan bahwa pola ketergantungan dalam AHP adalah searah, maksudnya perbandingan antara elemen-elemen dalam satu tingkat dipengaruhi atau tergantung oleh elemen-elemen pada tingkat di atasnya
4. *Expectation* artinya untuk tujuan pengambil keputusan. Struktur hirarki diasumsikan lengkap. Apabila asumsi ini tidak dipenuhi maka pengambil keputusan tidak memakai seluruh kriteria atau objektif yang tersedia atau diperlukan sehingga keputusan yang diambil dianggap tidak lengkap

Selanjutnya Saaty (2001) menyatakan bahwa proses hirarki analitik (AHP) menyediakan kerangka yang memungkinkan untuk membuat suatu keputusan efektif atas isu kompleks dengan menyederhanakan dan mempercepat proses pendukung keputusan. Pada dasarnya AHP adalah suatu metode dalam merinci suatu situasi yang kompleks, yang terstruktur kedalam suatu komponen-komponennya. Artinya dengan menggunakan pendekatan AHP kita dapat memecahkan suatu masalah dalam pengambilan keputusan.

2.6.2 Prinsip Kerja AHP

Pengambilan keputusan dalam metodologi AHP didasarkan atas tiga prinsip dasar (Saaty, 1994), yaitu:

a. Penyusunan Hirarki

Penyusunan hirarki permasalahan merupakan langkah untuk mendefinisikan masalah yang rumit dan kompleks, sehingga menjadi jelas dan rinci. Keputusan yang akan diambil ditetapkan sebagai tujuan, yang dijabarkan menjadi elemen-elemen yang lebih rinci hingga mencapai suatu tahapan yang paling operasional/terukur. Hirarki tersebut memudahkan pengambil keputusan untuk memvisualisasikan permasalahan dan faktor-

faktor terkendali dari permasalahan tersebut. Hirarki keputusan disusun berdasarkan pandangan dari pihak-pihak yang memiliki keahlian dan pengetahuan di bidang yang bersangkutan.

b. Penentuan Prioritas

Prioritas dari elemen-elemen pada hirarki dapat dipandang sebagai bobot/kontribusi elemen tersebut terhadap tujuan yang ingin dicapai dalam pengambilan keputusan. Metode AHP berdasarkan pada kemampuan dasar manusia untuk memanfaatkan informasi dan pengalamannya untuk memperkirakan pentingnya satu hal dibandingkan dengan hal lain secara relatif melalui proses membandingkan hal-hal berpasangan.

Proses inilah yang disebut dengan metode perbandingan berpasangan untuk menganalisis prioritas elemen-elemen dalam hirarki. Prioritas ditentukan berdasarkan pandangan dan penilaian para ahli dan pihak-pihak yang berkepentingan terhadap pengambilan keputusan, baik dengan diskusi atau kuisioner.

c. Konsistensi Logika

Prinsip pokok yang menentukan kesesuaian antara definisi konseptual dengan operasional data dan proses pengambilan keputusan adalah konsistensi jawaban dari para responden. Konsistensi tersebut tercermin dari penilaian elemen dari perbandingan berpasangan.

2.6.3 Matriks Perbandingan Berpasangan

Konsep dasar dari AHP adalah penggunaan *pairwise comparison matrix* (matriks perbandingan berpasangan) untuk menghasilkan bobot relatif antar kriteria maupun alternatif. Suatu kriteria akan dibandingkan dengan kriteria lainnya dalam hal seberapa penting terhadap pencapaian tujuan di atasnya. Sebagai contoh, kriteria spesifikasi dan kriteria biaya akan dibandingkan seberapa pentingnya dalam hal memilih armada transportasi. Begitu juga untuk alternatif. Kendaraan A, B, dan C akan dibandingkan secara berpasangan (dan akan dibentuk matriks) dalam hal sub-kriteria biaya pemeliharaan misalnya.

Nilai-nilai yang disarankan untuk membuat matriks perbandingan berpasangan adalah sebagai berikut:

- 1 : sama penting (*equal*)
- 3 : lebih penting sedikit (*slightly*)
- 5 : lebih penting secara kuat (*strongly*)
- 7 : lebih penting secara sangat kuat (*very strong*)
- 9 : lebih penting secara ekstrim (*extreme*)

Selain nilai-nilai di atas, nilai-nilai antaranya juga bisa digunakan, yakni 2, 4, 6, dan 8. Nilai-nilai ini menggambarkan hubungan kepentingan di antara nilai-nilai ganjil yang disebutkan di atas. Sementara jika kepentingannya terbalik, maka kita dapat menggunakan angka reprisokal dari nilai-nilai di atas. Misalnya perbandingan berpasangan antara kriteria 1 dan 3 adalah $1/5$, artinya kriteria 3 lebih penting secara kuat dari pada kriteria 1.

Matriks perbandingan berpasangan tersebut harus dibuat tiap level yang memiliki hirarki atasan yang sama. Sebagai contoh pada hirarki sebelumnya, kita harus membuat matriks perbandingan berpasangan untuk sub-kriteria kapasitas angkut dan sub-kriteria ketersediaan suku cadang terhadap kriteria spesifikasi, matriks perbandingan berpasangan antara sub-kriteria biaya pembelian, biaya pemeliharaan dan biaya perton mileage terhadap kriteria biaya, dan seterusnya.

Dalam membuat matriks berpasangan, kita hanya perlu menentukan matriks segitiga atas saja karena matriks segitiga bawah hanyalah nilai reprisokal dari matriks segitiga atas. Selain itu, nilai-nilai diagonal pada matriks perbandingan berpasangan adalah satu (karena setiap item dibandingkan dengan dirinya sendiri). Dengan demikian, apabila kita ingin membuat matriks perbandingan berpasangan dengan jumlah n item, maka kita hanya perlu membuat perbandingan sejumlah $n(n-1)/2$.

Jika semua matriks perbandingan berpasangan sudah dikumpulkan, kita dapat menghasilkan bobot prioritas akhir dari kandidat pilihan. Langkah pertama adalah setiap matriks perbandingan berpasangan perlu dicari bobot absolut

masing-masing item. Setelah itu, bobot prioritas akhir didapat dengan mengkalikan bobot absolut alternatif dengan bobot-bobot kriteria dan sub-kriteria di atasnya. Kemudian, bobot prioritas akhir ini dapat dijadikan sebagai acuan pemilihan kandidat ataupun pengurutan kepentingan kandidat pilihan.

2.6.4 Langkah – langkah menggunakan metode AHP

1. Mendefinisikan masalah dan menentukan solusi yang diinginkan.
2. Membuat struktur hirarki yang diawali dengan tujuan umum, dilanjutkan dengan sub tujuan-tujuan, kriteria dan kemungkinan alternatif – alternatif pada tingkatan kriteria yang paling bawah.
3. Membuat matriks perbandingan berpasangan yang menggambarkan kontribusi relative atau pengaruh setiap elemen terhadap masing – masing tujuan atau kriteria yang setingkat di atasnya. Perbandingan dilakukan berdasarkan judgement dari pengambilan keputusan dengan menilai tingkat kepentingan suatu elemen dibandingkan elemen lainnya.
4. melakukan perbandingan berpasangan sehingga diperoleh judgement seluruh sebanyak $n \times [(n-1)/2]$ buah, dengan n adalah banyaknya elemen yang dibandingkan.
5. Menghitung nilai eigen dan menguji konsistensinya, jika tidak konsisten maka pengambilan data diulangi.
6. Mengulangi langkah 3, 4, dan 5 untuk seluruh tingkat hirarki.
7. Menghitung vector eigen disetiap matriks perbandingan berpasangan. Nilai vector eigen merupakan bobot setiap elemen. Langkah ini untuk mensistesis judgement dalam penentuan prioritas elemen – elemen pada tingkat hirarki terendah sampai pencapaian tujuan.
8. Memeriksa konsistensi hirarki. Jika nilainya lebih dari 10% maka penilaian data judgement harus diperbaiki.

2.7 Technique For Others Reference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

TOPSIS adalah salah satu metode pengambilan keputusan multikriteria yang pertama kali diperkenalkan oleh Yoon dan Hwang (1981). TOPSIS menggunakan prinsip bahwa alternatif yang terpilih harus mempunyai jarak terdekat dari solusi ideal positif dan terjauh dari solusi ideal negatif dari sudut pandang geometris dengan menggunakan jarak Euclidean untuk menentukan kedekatan relatif dari suatu alternatif dengan solusi optimal

Solusi ideal positif didefinisikan sebagai jumlah dari seluruh nilai terbaik yang dapat dicapai untuk setiap atribut, sedangkan solusi negatif-ideal terdiri dari seluruh nilai terburuk yang dicapai untuk setiap atribut.

TOPSIS mempertimbangkan keduanya, jarak terhadap solusi ideal positif dan jarak terhadap solusi ideal negatif dengan mengambil kedekatan relatif terhadap solusi ideal positif. Berdasarkan perbandingan terhadap jarak relatifnya, susunan prioritas alternatif bisa dicapai.

Metode ini banyak digunakan untuk menyelesaikan pengambilan keputusan secara praktis. Hal ini disebabkan konsepnya sederhana dan mudah dipahami, komputasinya efisien, dan memiliki kemampuan mengukur kinerja relatif dari alternatif-alternatif keputusan. Solusi optimal dalam metode TOPSIS didapat dengan menentukan kedekatan relatif suatu alternatif terhadap solusi ideal positif. TOPSIS akan meranking alternatif berdasarkan prioritas nilai kedekatan relatif suatu alternatif terhadap solusi ideal positif. Alternatif-alternatif yang telah diranking kemudian dijadikan sebagai referensi bagi pengambil keputusan untuk memilih solusi terbaik yang diinginkan.

2.7.1 Prosedur Topsis

Prosedur TOPSIS dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut

- Menghitung separation measure
- Menentukan jarak antara nilai setiap alternatif dengan matriks solusi ideal positif dan negatif

- Menentukan nilai preferensi untuk setiap alternatif
- Decision matrix D mengacu terhadap m alternatif yang akan dievaluasi berdasarkan n kriteria yang didefinisikan sebagai berikut:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

- Dengan x_{ij} menyatakan performansi dari perhitungan untuk alternatif ke-i terhadap atribut ke-j.

2.7.2 Langkah-langkah metode TOPSIS

TOPSIS didasarkan pada konsep dimana alternatif terpilih yang terbaik tidak hanya memiliki jarak terpendek dari solusi ideal positif, namun juga memiliki jarak terpanjang dari solusi ideal negative. Nilai matriks pembobotan didapatkan dari proses sebelumnya (metode AHP). Adapun Langkah-langkah metode TOPSIS sebagai berikut

- Membangun normalized decision matrix

Elemen r_{ij} hasil dari normalisasi decision matrix R dengan metode Euclidean length of a vector adalah:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

- Membangun weighted normalized decision matrix

Dengan bobot $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, maka normalisasi bobot matriks V adalah :

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_1 r_{12} & \cdots & w_1 r_{1m} \\ w_1 r_{21} & w_1 r_{22} & \cdots & w_1 r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ w_m r_{m1} & w_m r_{m2} & \cdots & w_m r_{mm} \end{bmatrix}$$

- c. Menentukan solusi ideal dan solusi ideal negatif.

Solusi ideal dinotasikan A^* , sedangkan solusi ideal negatif dinotasikan A^- :

$$A^* = \{(max v_{ij} | j \in J), (min v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, 3, \dots, m\} = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$$

$$A^- = \{(min v_{ij} | j \in J), (max v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, 3, \dots, m\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

- d. Menghitung separasi

S_i^* adalah jarak (dalam pandangan Euclidean) alternatif dari solusi ideal didefinisikan sebagai:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, \text{ dengan } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

Dan jarak terhadap solusi negatif-ideal didefinisikan sebagai:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \text{ dengan } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

- e. Menghitung kedekatan relatif terhadap solusi ideal

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}, \text{ dengan } 0 < C_i^* < 1 \text{ dan } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

- f. Meranking Alternatif

2.8 Hubungan TOPSIS dan AHP

Pada dasarnya TOPSIS tidak memiliki model inputan yang spesifik dalam penyelesaian suatu kasus, TOPSIS menggunakan model inputan adaptasi dari metode lain (ex. AHP,UTA,ELECTRE,TAGUCHI dll)

Dalam menyelesaikan suatu kasus multikriteria, AHP membandingkan tiap kriteria menggunakan matriks perbandingan berpasangan untuk setiap alternatif

kemudian hasilnya adalah sebuah matriks keputusan yang menunjukkan skor setiap alternatif pada semua kriteria.

Alternatif terbaik adalah alternatif dengan skor tertinggi setelah dikalikan dengan vektor bobot, Sedangkan pada metode TOPSIS, matriks keputusan yang dihasilkan dari metode AHP merupakan modal awal/inputan awal dalam perhitungan selanjutnya.

2.9 Profil dan Kondisi Topografis Kabupaten Kupang

Kabupaten Kupang memiliki wilayah darat seluas kurang lebih 506.626,68 Ha dan wilayah laut seluas kurang lebih 277.028,67 Ha serta panjang garis pantai kurang lebih 479,26 km. Secara geografis Kabupaten Kupang terletak pada 121°.30' BT – 124°.11' BT dan 9°.19' LS - 10°.57' LS. dalam koordinat UTM Kabupaten Kupang terletak pada Zona 51S.

Kabupaten Kupang umumnya beriklim tropis dan kering yang juga cenderung dipengaruhi oleh angin dan dikategorikan sebagai daerah semi arid karena curah hujan yang relatif rendah dan keadaan vegetasi yang didominasi savana dan stepa.

Secara topografis sebagian wilayah Kabupaten Kupang berbukitan dan sebagiannya lagi merupakan dataran rendah yang menyebar di wilayah pesisir. Permukaan tanah di wilayah Kabupaten Kupang umumnya berbukit-bukit, bergunung-gunung dan sebagian terdiri dari dataran rendah dengan tingkat kemiringan rata-rata mencapai 450. dengan perincian sebagai berikut:

- $0^0 - 2^0$ = 34.462 Ha (10.15 %)
- $3^0 - 15^0$ = 197.145 Ha (26.86 %)
- $15^0 - 40^0$ = 324.771 Ha (44.26 %)
- $>41^0$ = 137.494 Ha (18.73 %)

2.10 Lokasi PLTS Terbangun di Kabupaten Kupang

Lokasi PLTS terbangun berada di desa Oelpuah, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang, koordinatnya seperti pada Tabel 2.5 berikut

Tabel 2.5 Batas-Batas Koordinat PLTS Terbangun di Kabupaten Kupang

Titik	Koordinat Geografis				Koordinat UTM	
	Latitude		Longitude		X	Y
P1	10°	8' 56.03" S	123°	44' 53.97" E	582798	8878053
P2	10°	8' 55.25" S	123°	44' 52.91" E	582825	8878093
P3	10°	8' 53.92" S	123°	44' 53.82" E	582716	8878381
P5	10°	8' 44.57" S	123°	44' 50.2" E	582993	8878457
P6	10°	8' 42.07" S	123°	44' 59.28" E	582956	8878226
P8	10°	8' 49.59" S	123°	44' 58.09" E	582872	8878091
P11	10°	8' 54" S	123°	44' 55.35" E	582829	8878028

2.11 Justifikasi Teknis Pemilihan Lokasi

Ruang lingkup wilayah dalam penelitian ini berada di Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur. Pemilihan studi kasus di wilayah ini dilakukan atas beberapa pertimbangan, justifikasi teknis pemilihan lokasi penelitian sebagai berikut:

1. Merupakan wilayah (Kabupaten) dimana terdapat PLTS dengan kapasitas terbesar di Indonesia pada saat ini.
2. Merupakan daerah semi arid, dimana daerah dengan iklim semi arid merupakan daerah yang ideal untuk dilakukan pembangunan PLTS karena memiliki tingkat curah hujan yang rendah dan tutupan awan yang sedikit.
3. Menurut (Nurliyanti, Pandin, & Pranoto, 2012), potensi energy radiasi surya terbesar di Indonesia terdapat di wilayah selatan bagian timur, seperti NTT, Flores, Maluku Barat daya dan sekitarnya.
4. Merupakan PLTS dengan sistem grid connected yang dihubungkan dengan sumber listrik umum atau jaringan grid PLN, dengan tujuan mendapatkan kekontinuan pasokan listrik untuk wilayah Kabupaten Kupang.

2.12 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang menunjang penelitian ini yaitu melakukan kajian tentang penentuan lokasi menggunakan SIG dan Metode MCDM.

(Tahri, Hakdaoui, & Maanan, 2015), Area studi dalam penelitian ini di Moroko disebelah selatan pegunungan Atlas, termasuk daerah Ouarzazate,

Ghassate and Ait Zineb dengan iklim yang bersifat semi-arid dan panas. Di daerah ini telah terpasang proyek PLTS NOOR I (33 km²) dan direncanakan dibangun lagi NOOR II. Metode yang digunakan adalah SIG dan MCDM (AHP). Kriteria yang digunakan adalah tutupan lahan, orografi (slope dan orientasi), lokasi (jarak terhadap permukiman dan jarak terhadap jalan), dan iklim (potensi radiasi cahaya dan temperatur permukaan. Untuk menentukan besaran temperatur permukaan menggunakan citra LANDSAT OLI 8 yang diolah menggunakan software ERDAS Imagine. Untuk kriteria orografi (slope dan orientasi) didapatkan dari data DEM. Dari segi ekonomi lokasi PLTS diharapkan mendekati sumber energi dan jaringan energi, serta jaringan jalan (mengurangi biaya) yang sebelumnya telah ditentukan jika area permukiman dan radius 2 km menjadi area konstrain. Kombinasi SIG dan AHP membantu pengambil keputusan dalam proses evaluasi dan implementasi proses pengambilan keputusan. Matrik berpasangan adalah cara yang baik untuk menentukan pembobotan baik untuk kriteria dan alternatif. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa area unsuitable sebesar 26% dan area highly suitable sebesar 23%. Alternatif yang dihasilkan adalah (marginally suitable, suitable, moderately suitable, dan highly suitable serta area unsuitable/konstrain) adapun lokasi NOOR I terdapat di area moderately suitable. Kelemahan dari metode AHP adalah jika nilai konsistensi lebih besar dari 0.10 maka terdapat ketidakkonsistenan dalam menentukan perbandingan yang memungkinkan metode AHP tidak menghasilkan solusi yang berarti

(Sánchez-Lozano, Teruel-Solano, Soto-Elvira, & García-Cascales, 2013). Area studi dalam penelitian ini di Spanyol bagian tenggara. Area konstrain dalam penelitian ini adalah kawasan lindung (dari segi lingkungan), perairan, kawasan heritage, warisan ekologi dan paleontology, wilayah dengan akses yang sulit (bukit, pegunungan, dll). Kriteria yang digunakan dalam penelitian ini adalah lingkungan, orografi, lokasi (jarak terhadap jalan, jarak terhadap permukiman, jarak terhadap power transmisi, dan jarak terhadap jaringan energi), dan iklim. Metode yang digunakan adalah SIG digunakan untuk menentukan area yang sesuai, AHP digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan dan pembobotan, serta TOPSIS digunakan untuk merangking alternatif. Hasil dari penelitian ini

adalah menghasilkan 4 alternatif poor, good, very good, dan excellent. Kesulitan dalam menentukan lokasi PLTS dapat diatasi dengan mengkombinasikan SIG dan MCDM sehingga muncul alternatif-alternatif yang dapat dipilih sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan.

(Sánchez-Lozano, García-Cascales, & Lamata, 2015). Area studi dalam penelitian ini di daerah Murcia, Spanyol. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah SIG dan fuzzy AHP. Terdapat 10 kriteria dalam penelitian ini, yaitu kapasitas agrologi, slope, orientasi, luas area, jarak terhadap jalan, jarak terhadap jaringan energi, jarak terhadap kota, jarak terhadap power transmisi, potensi radiasi cahaya, dan temperatur permukaan. Dalam penelitian ini memakai 3 survei experts dan diolah dengan metode pseudo-delphi. Alternatif yang digunakan adalah poor capacity, good capacity, very good capacity, dan excellent capacity.

(Uyan, 2013). Area studi dalam penelitian ini di wilayah Karapınar, Turki. Menurut Uyan Integrasi antara SIG dengan AHP merupakan salah satu alat yang sangat bagus untuk memecahkan permasalahan dalam mengambil keputusan untuk penentuan lokasi solar farm. Konstrain dalam penelitian ini adalah area permukiman dan radius 500m, radius jalan 500 m, badan air, dan area yang dilindungi dan radius 500m. Kriteria yang digunakan adalah lingkungan dan ekonomi dan dibagi dalam 5 faktor, yaitu jarak dari area permukiman, tataguna lahan, jarak dari jalan, kemiringan, dan jarak dari jaringan transmisi. Hasil dari penelitian ini tergantung oleh pemilihan kriteria. Pemilihan kriteria sendiri ditentukan oleh kepentingan yang diharapkan sesuai tujuan penelitian. Dalam penelitian ini kriteria dipilih berdasarkan pandangan expertis dan pembuat kebijakan.

(Alfy, Elhadary, & Elashry, 2010). Penelitian dilakukan di Mansoura, Mesir Menggunakan metode SIG-MCDM (AHP & WLC). Kesesuaian lahan untuk kawasan pembuangan sampah. Analisa SIG digunakan untuk analisa spasial, AHP digunakan untuk menentukan bobot kepentingan dan WLC digunakan untuk perhitungan indeks kesesuaian. Parameter yang digunakan adalah ketersediaan air, permukiman, rel kereta, kawasan arkeologi, kawasan khusus, ketersediaan jalan,

dan perkotaan. Kriteria konstrain digunakan untuk identifikasi lahan yang tidak diperbolehkan (sesuai peraturan setempat), dimana hanya terdapat 2,93% area yang diperbolehkan digunakan sebagai tempat pembuangan. Analisa SIG-MCDM digunakan sebagai tools untuk mempersingkat waktu, menghemat biaya, dan berorientasi spasial. Kriteria dan faktor dapat bervariasi dan dapat berubah dalam proses analisis. Nilai ketidakpastian tergantung pada keakuratan data, pembobotan parameter, dan proses menggunakan model spasial yang tepat. Metodologi yang diberikan dengan jelas dan penyajian dalam peta yang mudah dimengerti membantu para pembuat keputusan dalam mendapatkan dukungan dari masyarakat.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini disusun secara sistematis yang dijadikan sebagai kerangka penelitian. Proses penelitian diharapkan sesuai dengan apa yang tertuang dalam metodologi penelitian dan hasilnya sesuai dengan apa yang tertulis pada perumusan masalah dan tujuan.

Dalam metodologi penelitian ini, terdapat 4 tahap, yaitu

1. Menentukan kriteria/ faktor data spasial
2. Analisa data spasial
3. Menentukan pembobotan setiap kriteria menggunakan metode AHP
4. Menentukan perangkingan alternatif menggunakan metode TOPSIS

Adapun metodologi pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1

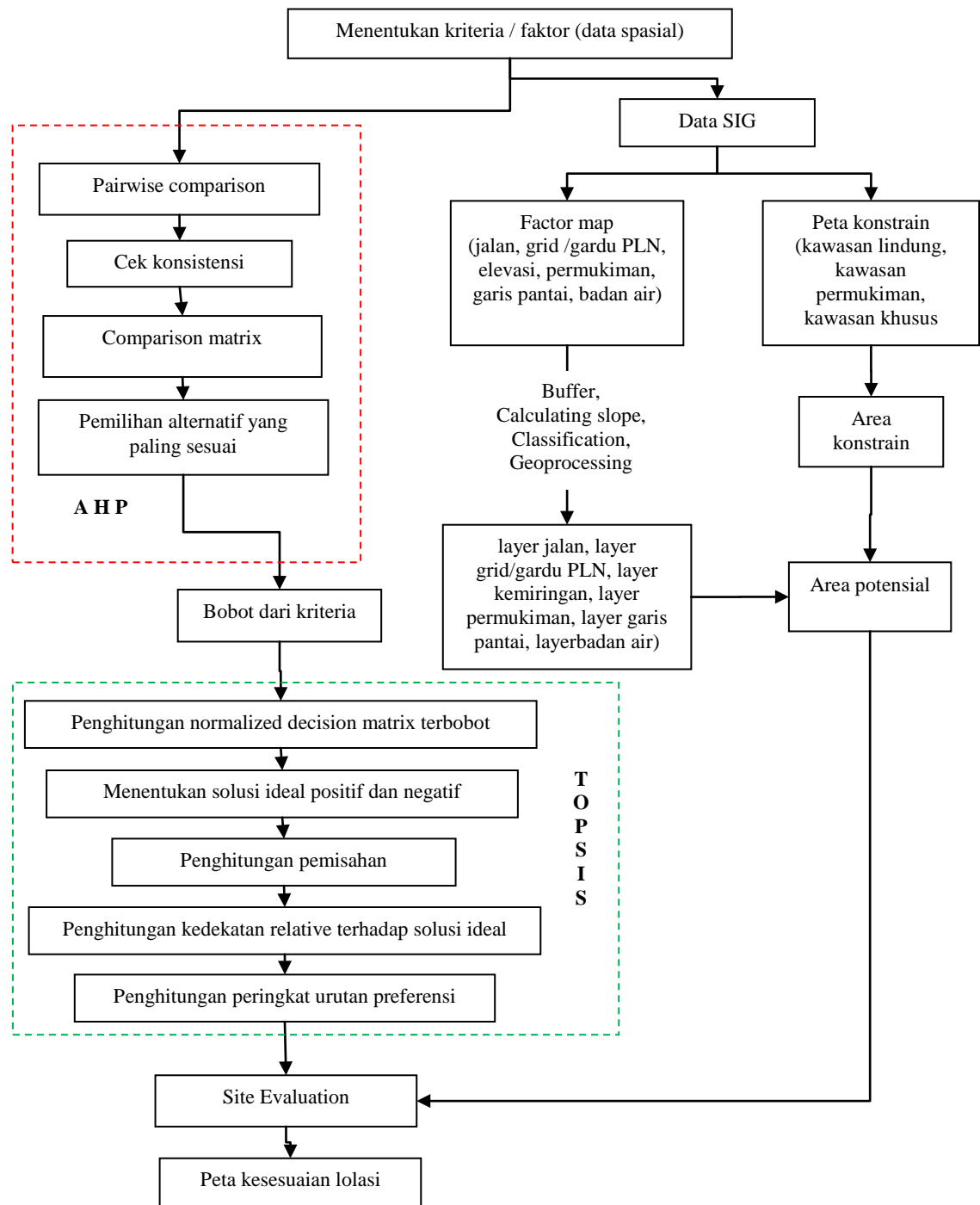
3.1 Menentukan kriteria/ faktor data spasial

Penentuan kriteria / faktor ditetapkan setelah peneliti melakukan penggalian terhadap penelitian terdahulu. Pengumpulan data dilakukan dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan pada analisa data spasial. Data yang digunakan adalah data spasial yang berasal dari berbagai sumber, seperti pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 3.1. Sumber Data dan Keluaran

No.	Input	Output
1	Citra Kabupaten Kupang	• Tutupan lahan
2	RBI	• Jaringan jalan permukiman • Badan air
3	Peta jaringan PLN	• Jaringan PLN dan Gardu Induk • Besaran beban listrik
4	Peta kontur	• Slope • Arah orientasi
5	Peta administrasi	• Batas administrasi

No.	Input	Output
		<ul style="list-style-type: none"> • Garis pantai • Badan air
6	Peta rencana tata ruang (RTRW)	<ul style="list-style-type: none"> • Rencana kawasan lindung • Rencana kawasan budidaya • Peruntukan lahan • Rencana jaringan energi • Rencana jaringan jalan
7	Data Potensi Radiasi Matahari (NASA)	<ul style="list-style-type: none"> • Potensi Radiasi Matahari bulanan
8	Data Kepadatan Penduduk	<ul style="list-style-type: none"> • Peta kepadatan penduduk



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian

3.2 Analisa data spasial

Fasilitas pada *Geoprocessing* di *ArcMap* memungkinkan untuk menganalisis dan menggabungkan *layer* dengan cara yang berbeda berdasarkan hubungan spasial antara fitur-fitur. *Spatial analysis tools* yang tersedia pada *ArcMap* dan *ArcCatalog* dapat diakses melalui window *ArcToolbox*. Fasilitas yang terdapat pada *Geoprocessing Tools* adalah *Clip*, *Dissolve*, *Intersect*, *Merge*, dan *Union*.

- *Clip* digunakan untuk mengurangi luas satu *layer* berdasarkan luas *layer* yang lainnya.
- *Dissolve* digunakan untuk mengumpulkan fitur-fitur yang mempunyai nilai *attribute* yang sama di dalam satu *layer* tunggal.
- *Intersect* digunakan untuk mendapatkan fitur-fitur dari dua *layer* yang berada di dalam suatu batas tertentu.
- *Merge* digunakan untuk menggabungkan dua atau lebih *layer-layer* yang berdekatan atau berbatasan menjadi satu *layer* tunggal.
- *Union* digunakan untuk menggabungkan dua buah *layer* polygon.

Buffer Tool memungkinkan untuk menemukan fitur-fitur yang berada dalam jarak tertentu dari fitur-fitur lainnya. *Buffer* juga dapat digunakan untuk suatu fitur dalam jarak tertentu atau menggunakan nilai *attribute* untuk menciptakan variabel lebar suatu *buffer*.

Selain itu *Spatial Join* digunakan untuk menggabungkan *attribute* fitur-fitur dari satu *layer* dengan fitur-fitur *layer* yang lainnya berdasarkan hubungan spasial. Mirip dengan *Selection by Location*, dapat dilakukan penggabungan secara spasial berdasarkan hubungan pembatasan, jarak, dan titik pertemuan.

Semua operasi analisis data spasial dapat membuat data set spasial baru dari data set yang sudah ada.

- Menggabungkan dua *layer* shape file ke dalam satu *layer*
- Melakukan *buffer* pada *layer* shape file untuk membuat *layer* baru.
- Melakukan *clip* pada satu *layer* shape file dengan *layer* shape file yang lainnya.

- Melakukan penggabungan secara spasial
- Membuat tabel ringkasan
- Melakukan *dissolve* batas antara area-area yang saling berbatasan di dalam satu shape file berdasarkan pada nilai *attribute*
- Melakukan tumpang tindih (*overlay*) pada dua *layer* shape file atau lebih dengan menggunakan *union* atau *intersect*.

3.2.1 Faktor Konstrain

Dalam penelitian ini, pengertian konstrain adalah faktor-faktor yang membatasi dan bersifat menghilangkan, jadi area konstrain merupakan area yang tidak sesuai untuk lokasi PLTS. Adapun kriteria area konstrain sebagai berikut:

- Kawasan lindung (Hutan Lindung, kawasan perlindungan thd kawasan dibawahnya, Suaka alam, cagar budaya, kawasan rawan bencana alam, kawasan lindung geologi) dan radius 500 m
- Kawasan militer dan radius 500 m
- Permukiman / perkotaan dan radius 500 m
- Badan Air (danau, sungai, waduk, dll) dan sempadannya (50-100m)
- Kawasan Airport dan KKOP dengan radius 3030 m
- Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan
- Daerah dengan kemiringan lebih dari 20%

3.2.2 Faktor, Kriteria, dan Indikator

Kriteria adalah aspek terukur dari sebuah keputusan, yang memungkinkan untuk mengkarakterisasi dan mengukur alternatif dalam menentukan sebuah keputusan (Carrion, Estrella, Dols, Toro, Rodriguez, & Ridao, 2008).

Pemilihan kriteria evaluasi dipilih berdasarkan tujuan yang akan dicapai dan literatur mengenai beberapa studi kasus penentuan lokasi EBT yang menggunakan SIG-MCDM sebelumnya. Dalam penelitian ini terdapat 4 kriteria dan 10 sub-kriteria, seperti dalam Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2. Kriteria, Sub-Kriteria dan Indikator

Kriteria	Sub-Kriteria	Indikator	Skoring
Lingkungan	C1 - Peruntukan Lahan	Area diijinkan	1
		Area diijinkan bersyarat	0.5
	C2 - Badan Air	100 - 300 m	1
		300 - 1000 m	0.75
		1000 – 2000 m	0.5
		>2000 m	0.25
Orografi	C3 - Kemiringan (%)	0-2 %	1
		3-7 %	0.75
		8-13 %	0.5
		14-20 %	0.25
	C4 – orientasi lereng	Flat	1
		East	0.5
		South East	0.25
		South	0.25
		South West	0.25
		West	0.5
		North West	0.75
		North	1
		North East	0.75
Lokasi	C5 - Jarak terhadap jalan	1,4-3 km	1
		3-5 km	0.75
		5-10 km	0.5
		>10 km	0.25
	C6 - Jarak terhadap Gardu Induk / grid PLN	0 – 1 km	1
		1 – 3 km	0.75
		3– 6 km	0.5
		>6 km	0.25
	C7 - Jarak terhadap permukiman / kota	0-1,5 km	1
		1,5-3 km	0.75
		3-5 km	0.5
		5-10 km	0.25
	C8 - Jarak terhadap laut / garis pantai	<10 km	1
		10 – 30 km	0.6
		>30km	0.3
Iklim	C9 - Potensi Radiasi Matahari	< 6,10 KWh/m ² /hari	1
		6.10 – 6.25 KWh/m ² /hari	0.75
		6.25 – 6.40 KWh/m ² /hari	0.5
		> 6.40 KWh/m ² /hari	0.25

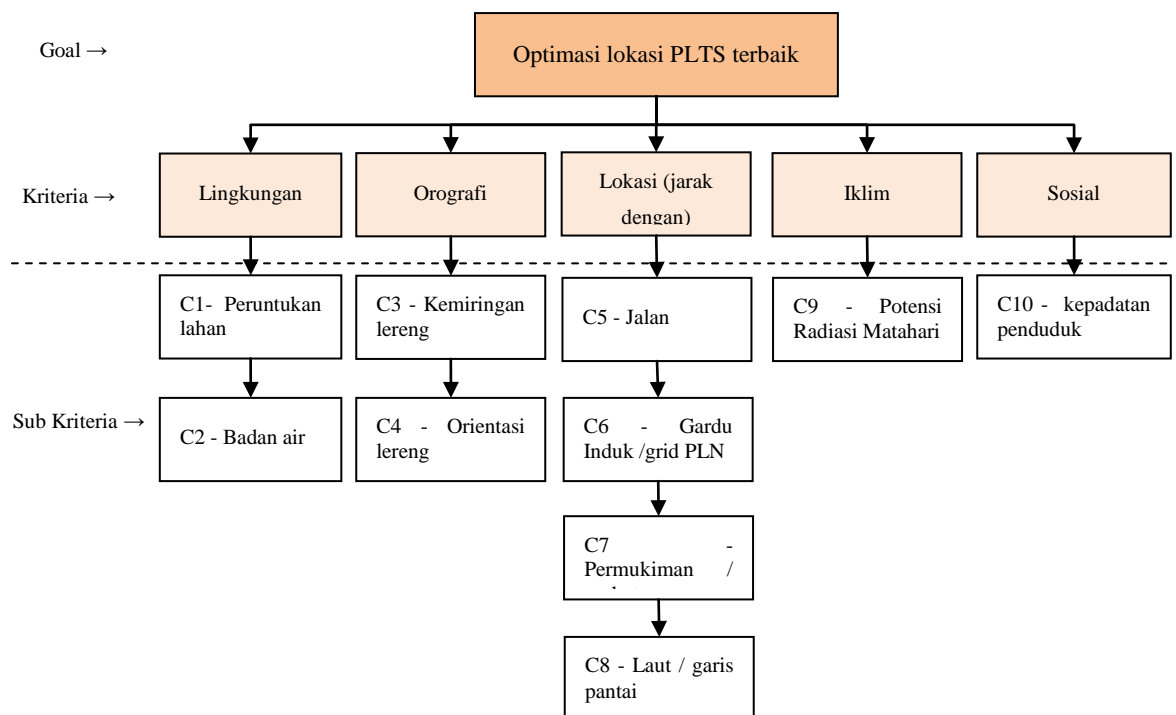
Kriteria	Sub-Kriteria	Indikator	Skoring
Sosial	C10 – Kepadatan Penduduk	< 50 jiwa/Km ²	1
		50 – 100 jiwa/Km ²	0.75
		100 – 200 jiwa/Km ²	0.5
		> 200 jiwa/Km ²	0.25

3.3 Menentukan pembobotan setiap kriteria menggunakan metode AHP

Tahapan-tahapan pengambilan keputusan dengan Metode AHP, sebagai berikut :

3.3.1 Menyusun struktur hirarki masalah

Hirarki masalah disusun untuk membantu proses pengambilan keputusan dengan memperhatikan seluruh elemen keputusan yang terlibat dalam sistem. Pada tingkat tertinggi dari hirarki, dinyatakan tujuan, sasaran dari sistem yang dicari solusi masalahnya. Tingkat berikutnya merupakan penjabaran dari tujuan tersebut. diharapkan masing-masing tingkat memiliki elemen yang homogen. Sebuah elemen menjadi kriteria dan patokan bagi elemen-elemen yang berada di bawahnya. Berikut hirarki masalah dalam penelitian ini pada Gambar 2.5.



Gambar 3.2 Bagan Hirarki Penelitian

3.3.2 Penyusunan prioritas

Setiap elemen yang terdapat dalam hirarki harus diketahui bobot relatifnya satu sama lain. Tujuannya adalah untuk mengetahui tingkat kepentingan pihak-pihak yang berkepentingan dalam permasalahan terhadap kriteria dan struktur hirarki atau sistem secara keseluruhan.

Untuk menetapkan prioritas dilakukan dengan menyusun perbandingan berpasangan yaitu membandingkan seluruh elemen untuk setiap hirarki. Apabila dalam suatu subsistem operasi terdapat n elemen operasi yaitu A_1, A_2, \dots, A_n maka hasil perbandingan dari elemen-elemen operasi tersebut akan membentuk matriks A berukuran $n \times n$ sebagai berikut

	A_1	A_2	...	A_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...
A_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nn}

Matriks $A_{n \times n}$ merupakan matriks *reciprocal*, yang diasumsikan terdapat n elemen yaitu w_1, w_2, \dots, w_n yang membentuk perbandingan. Nilai perbandingan secara berpasangan antara w_i, w_j dipresentasikan dalam sebuah matriks $w_i, w_j = a_{ij}$ dengan $ij = 1, 2, 3, \dots, n$ sedangkan nilai a_{ij} merupakan nilai matriks hasil perbandingan yang mencerminkan nilai kepentingan A_i terhadap A_j bersangkutan sehingga diperoleh matriks yang dinormalisasi. Nilai $a_{ij} = 1$, untuk $i = j$ (diagonal matrik memiliki nilai 1), atau apabila antara elemen operasi A_i dengan A_j memiliki tingkat kepentingan yang sama maka nilai $a_{ij} = a_{ji} = 1$. Bila vector pembobotan elemen-elemen operasi dinyatakan dengan W , dengan $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, maka intensitas kepentingan elemen operasi A_1 terhadap A_2 adalah $1/2 = 12$, sehingga matriks perbandingan berpasangan dapat dinyatakan sebagai berikut

	A_1	A_2	...	A_n
A_1	w_1/w_1	w_1/w_2	...	w_1/w_n
A_2	w_2/w_1	w_2/w_2	...	w_2/w_n
...
A_n	w_n/w_1	w_n/w_1	...	w_n/w_n

Berdasarkan matriks perbandingan berpasangan maka dilakukan normalisasi dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Bobot setiap kolom j dijumlahkan, total nilai kolom dilambangkan dengan S_{ij} .

$$S_{ij} = \sum_{i=1}^n a_{ij}$$

- Nilai setiap kolom dibagi dengan total nilai kolomnya. Hasil dari pembagian itu dilambangkan dengan V_{ij} .

$$V_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_{ij}}$$

dimana $ij = 1, 2, 3, \dots, n$

- Selanjutnya dengan menghitung vektor prioritas relatif dari setiap kriteria dengan merata-ratakan bobot yang sudah dinormalisasi dengan baris ke-i. Prioritas kriteria ke-i dilambangkan dengan P_i .

$$P_i = \sum_{i=1}^n \frac{Q_{ij}}{n}$$

3.3.3 Menentukan eigenvector dan eigenvalue

Nilai eigenvector merupakan bobot setiap elemen. Eigenvector menunjukkan kriteria mana yang paling disukai atau yang penting dan disajikan dalam sebuah matrik perbandingan dalam setiap level. Hasil akhir penghitungan bobot prioritas (nilai eigenvector) tersebut merupakan suatu bilangan decimal di bawah satu dengan total prioritas untuk kriteria-kriteria dalam satu kelompok sama dengan satu (1).

Sedangkan eigenvalue adalah bilangan scalar atau parameter yang dikalikan dengan eigenvector. Eigenvector biasa disebut sebagai vector karakteristik dari sebuah matriks bujur sangkar sedangkan eigenvalue meruoakan akar karakteristik dari matriks tersebut.

$$A.w = \lambda.w$$

Dimana

w = eigenvector

λ = eigenvalue

A = matrik bujur sangkar

3.3.4 Menghitung konsistensi

Pengukuran konsistensi dari suatu matrik didasarkan atas eigenvalue maksimal. Penyimpangan nilai eigen maksimum merupakan perubahan ukuran konsistensi. Indikator terhadap konsistensi diukur melalui indeks konsistensi sebagai berikut

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1}$$

Nilai eigenvalue maksimum suatu matriks tidak akan lebih kecil dari nilai n sehingga tidak mungkin ada nilai CI yang negative.

Indeks inkonsistensi kemudian diubah ke dalam bentuk rasio inkonsistensi dengan cara membagi dengan suatu indeks random. Indeks random menyatakan rata-rata konsistensi dan matrik perbandingan, besarnya nilainya adalah

Tabel 3.3 Besaran Nilai Indeks Random (RI) (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,245	1,32	1,41	1,45	1,49

Dimana besar nilai CR adalah $CR = \frac{CI}{RI}$

Matriks perbandingan ini dianggap konsisten jika nilai CR tidak lebih dari 10% atau $CR \leq 0,1$

3.4 Menentukan perangkingan alternatif menggunakan metode TOPSIS

TOPSIS didasarkan pada konsep dimana alternatif terpilih yang terbaik tidak hanya memiliki jarak terpendek dari solusi ideal positif, namun juga memiliki jarak terpanjang dari solusi ideal negative. Nilai matriks pembobotan didapatkan dari proses sebelumnya (metode AHP). Adapun Langkah-langkah metode TOPSIS sebagai berikut

- Membangun normalized decision matrix

Elemen r_{ij} hasil dari normalisasi decision matrix R dengan metode Euclidean length of a vector adalah:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

b. Membangun weighted normalized decision matrix

Dengan bobot $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, maka normalisasi bobot matriks V adalah :

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_1 r_{12} & \cdots & w_1 r_{1m} \\ w_1 r_{21} & w_1 r_{22} & \cdots & w_1 r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ w_m r_{m1} & w_m r_{m2} & \cdots & w_m r_{mm} \end{bmatrix}$$

c. Menentukan solusi ideal dan solusi ideal negatif.

Solusi ideal dinotasikan A^* , sedangkan solusi ideal negatif dinotasikan A^- :

$$A^* = \{(max v_{ij} | j \in J), (min v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, 3, \dots, m\} = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$$

$$A^- = \{(min v_{ij} | j \in J), (max v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, 3, \dots, m\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

d. Menghitung separasi

S_i^* adalah jarak (dalam pandangan Euclidean) alternatif dari solusi ideal didefinisikan sebagai:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, \text{ dengan } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

Dan jarak terhadap solusi negatif-ideal didefinisikan sebagai:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \text{ dengan } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

e. Menghitung kedekatan relatif terhadap solusi ideal

$$C_i^* = \frac{S_i^*}{S_i^* + S_i^-}, \text{ dengan } 0 < C_i^* < 1 \text{ dan } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

f. Merangking Alternatif

Alternatif dapat dirangking berdasarkan urutan C_i^* . Maka dari itu, alternatif terbaik adalah salah satu yang berjarak terpendek terhadap solusi ideal dan berjarak terjauh dengan solusi negatif-ideal.

BAB 4

PEMBAHASAN DAN ANALISIS

Bab keempat ini menunjukkan hasil pengolahan data spasial, pembobotan kriteria, dan perankingan alternatif, serta analisisnya. Pengolahan data spasial bertujuan untuk mendapatkan lokasi yang sesuai dengan kriteria, pembobotan kriteria bertujuan untuk mengekspresikan seberapa besar pengaruh suatu kriteria terhadap kriteria lainnya, dan perankingan alternatif bertujuan untuk memberikan hasil optimal terhadap alternatif-alternatif yang muncul.

4.1 Analisa data spasial

Pengolahan data spasial dilakukan untuk mengintegrasikan data spasial dan data tabular, menjadi sebuah informasi yang bereferensikan geografis. Pengolahan data spasial dilakukan pada faktor konstrain dan setiap kriteria.

4.1.1 Area konstrain

Area konstrain merupakan area yang tidak sesuai untuk lokasi PLTS yang bersifat membatasi dan bersifat menghilangkan. Area konstrain didapat dari data input hasil analisa rencana pola ruang sesuai dengan Perda Kabupaten Kupang No. 1 Tahun 2015, Rencana pola ruang wilayah menggambarkan rencana sebaran pelestarian kawasan lindung dan rencana pengembangan kawasan budidaya di Kabupaten Kupang.

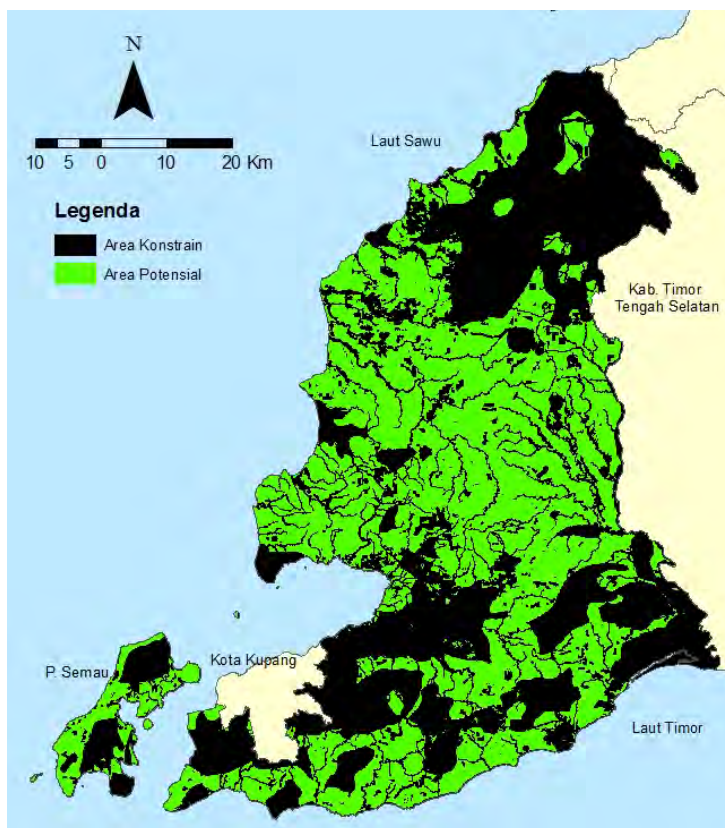
Kawasan lindung adalah wilayah yang ditetapkan dengan fungsi utama melindungi kelestarian lingkungan hidup yang mencakup sumber daya alam dan sumber daya buatan. Dalam penelitian ini kawasan lindung sepenuhnya menjadi area konstrain karena dalam peraturan daerah menyebutkan bahwa indikasi kawasan lindung tidak boleh berubah fungsi. Kawasan lindung kabupaten dibagi menjadi:

- a. kawasan hutan lindung
- b. kawasan yang memberi perlindungan terhadap kawasan bawahannya
- c. kawasan perlindungan setempat

- d. kawasan suaka alam, pelestarian alam dan cagar budaya
- e. kawasan rawan bencana alam
- f. kawasan lindung geologi.

Kemudian area konstrain selain kawasan lindung adalah kawasan militer dengan radius 500 m, Permukiman / perkotaan dengan radius 500 m, Badan Air (danau, sungai, waduk, dll), kawasan Bandara dan KKOP dengan radius 3030 m, Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan dengan input data berupa peruntukan lahan basah dari kawasan budidaya dalam Rencana Pola Ruang, serta area dengan kemiringan lebih dari 20% dengan input data dari data kemiringan lereng.

Penentuan area konstrain dengan cara menggabungkan semua faktor konstrain tersebut di atas menggunakan *union tool* dalam fasilitas *Geoprocessing* di *ArcMap* untuk menggabungkan layer kawasan lindung, kawasan militer, permukiman, badan air, kawasan bandara dan KKOP, Kawasan LP2B, dan area dengan kemiringan lebih dari 20% . Dengan ditentukannya area konstrain, maka didapatkan area potensial (area yang sesuai). Hasil pengolahan data untuk area konstrain seperti pada Gambar 4.1



Gambar 4.1. Area Potensial dan Area Konstrain

4.1.2 Kriteria Penentuan Lokasi PLTS

Penentuan lokasi yang optimal untuk PLTS didapatkan dari Area potensial (area yang sesuai) yang dilakukan pembobotan menggunakan metode AHP dan perangkingan menggunakan metode TOPSIS dengan kriteria yang telah ditentukan. Pengolahan data spasial dilakukan untuk setiap kriteria.

4.1.2.1 Kriteria Peruntukan lahan

Data input untuk kriteria peruntukan lahan adalah data kawasan budidaya sesuai rencana pola ruang dalam Perda Kabupaten Kupang No. 1 Tahun 2015. Kawasan budidaya adalah wilayah yang ditetapkan dengan fungsi utama untuk dibudidayakan atas dasar kondisi dan potensi sumber daya alam, sumber daya manusia, dan sumber daya buatan. Kawasan budidaya Kabupaten Kupang dibagi menjadi

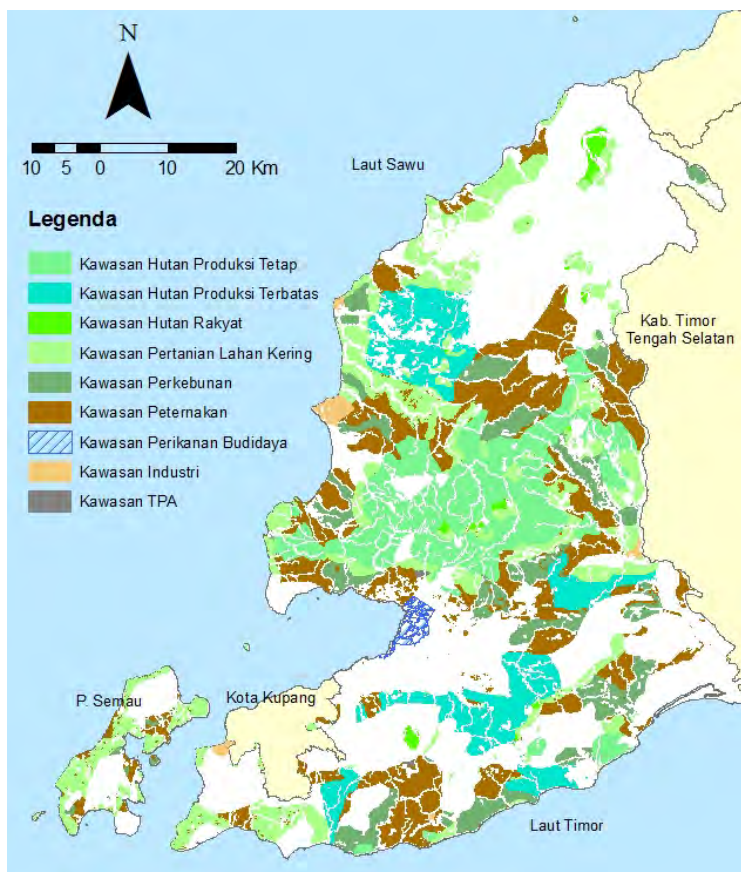
- a. kawasan peruntukan hutan produksi
- b. kawasan peruntukan hutan rakyat
- c. kawasan peruntukan pertanian
- d. kawasan peruntukan perikanan
- e. kawasan peruntukan industri
- f. kawasan peruntukan permukiman
- g. kawasan peruntukan lainnya.

Kriteria peruntukan lahan didapatkan dari kawasan budidaya. Untuk kawasan permukiman menjadi area konstrain, karena di kawasan tersebut tidak diijinkan adanya PLTS dan kawasan pertanian lahan basah karena direncanakan menjadi kawasan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan. Dalam penelitian ini indikator kriteria peruntukan lahan seperti pada Tabel 4.1. Hasil pengolahan data untuk kriteria peruntukan lahan dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Tabel 4.1. Zona dan indikator kriteria peruntukan lahan

No	Zona	Indikator
1	Kawasan Peruntukan Hutan Produksi Tetap	Dijijinkan bersyarat
2	Kawasan Peruntukan Hutan Produksi Terbatas	Dijijinkan bersyarat
3	Kawasan Peruntukan Hutan Rakyat	Dijijinkan bersyarat
4	Kawasan Peruntukan pertanian lahan kering	Dijijinkan

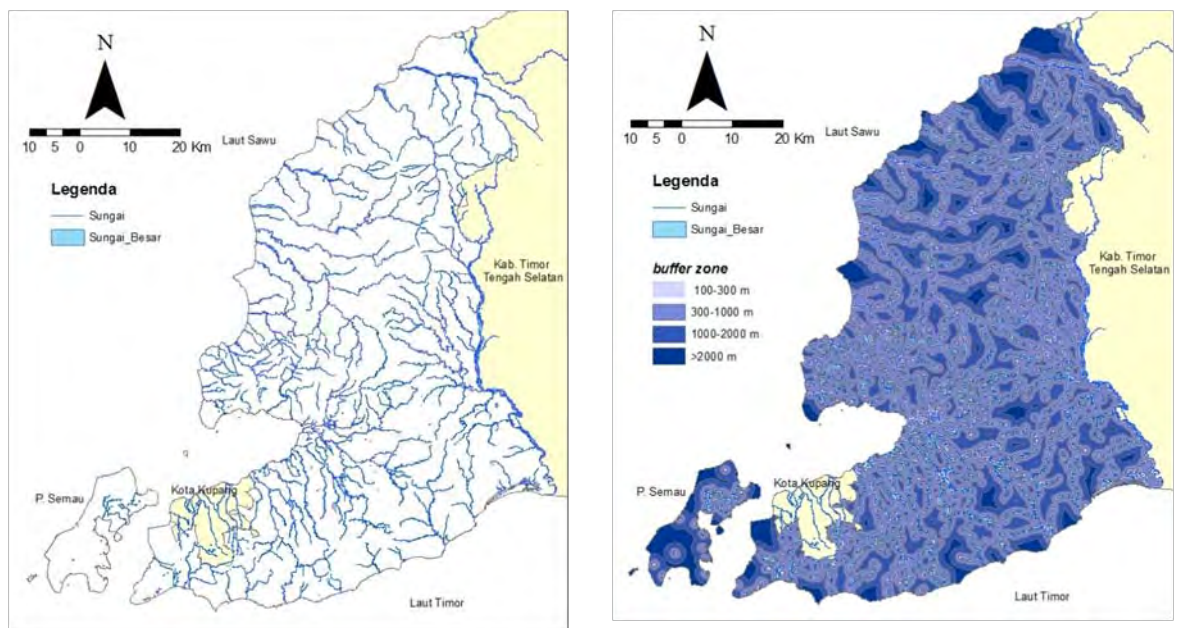
No	Zona	Indikator
5	Kawasan Peruntukan Peternakan	Diijinkan
6	Kawasan Peruntukan Perkebunan	Diijinkan
7	Kawasan Peruntukan perikanan budidaya	Diijinkan
8	Kawasan Peruntukan Industri	Diijinkan
9	Kawasan Peruntukan TPA	Diijinkan bersyarat



Gambar 4.2 Peta Peruntukan Lahan

4.1.2.2 Kriteria Badan Air

Data input untuk kriteria badan air adalah data sungai kecil dan sungai besar. Indikator yang ditentukan dengan interval 100 - 300 m; 300 - 1000 m; 1000 – 2000 m; dan lebih dari 2000 m. Penentuan interval ini menggunakan *buffer tool* dalam fasilitas *Geoprocessing* di *ArcMap*. Hasil pengolahan data untuk kriteria badan air dapat dilihat pada Gambar 4.3. Pertimbangan kriteria Badan air adalah dari segi lingkungan, semakin jauh lokasi PLTS dari Badan air maka lebih baik.



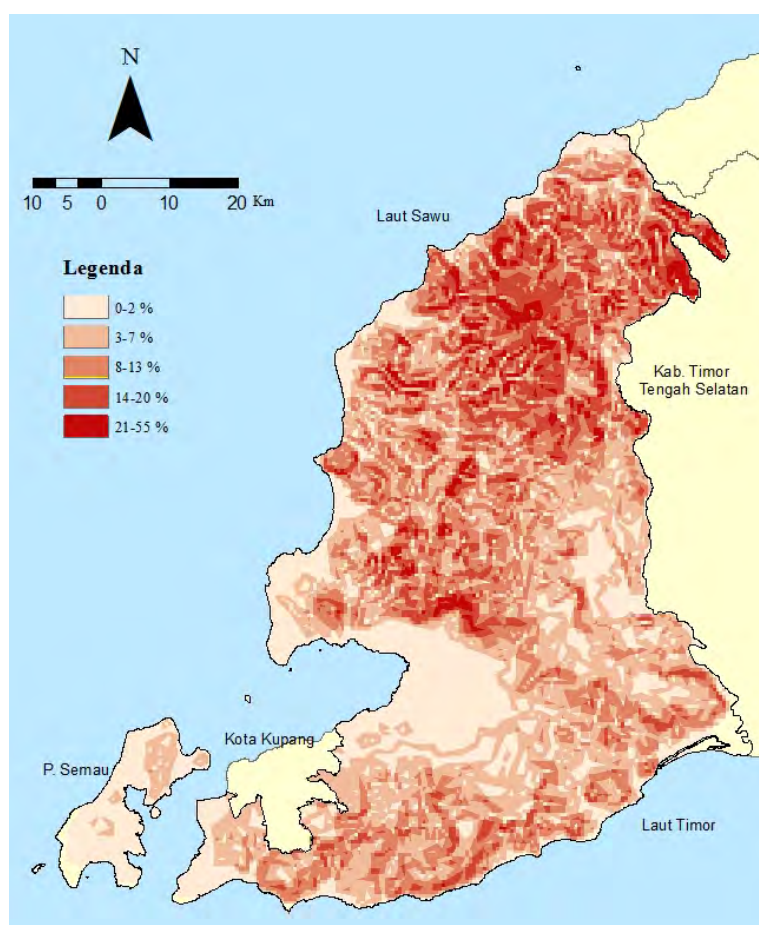
a b
Gambar 4.3. Peta badan air / jaringan sungai (a) dan Peta buffer zone kriteria badan air (b)

4.1.2.3 Kriteria Kemiringan Lereng

Data input untuk kriteria kemiringan lereng adalah data kontur Kabupaten Kupang dengan interval 100 m. Indikator yang ditentukan dengan berdasarkan pembagian kelas lereng oleh Zuidam, 1985. Interval kemiringan lereng Kabupaten Kupang dapat dilihat pada Tabel 4.2. Selanjutnya, kemiringan lereng di atas 20% menjadi area konstrain. Pembuatan kemiringan lereng ini menggunakan *raster surface slope tools* dalam *3D analyst tools*. Pertimbangan kriteria kemiringan lereng semakin datar semakin baik. Hasil pengolahan data kemiringan lereng dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Tabel 4.2. Indikator kemiringan lereng

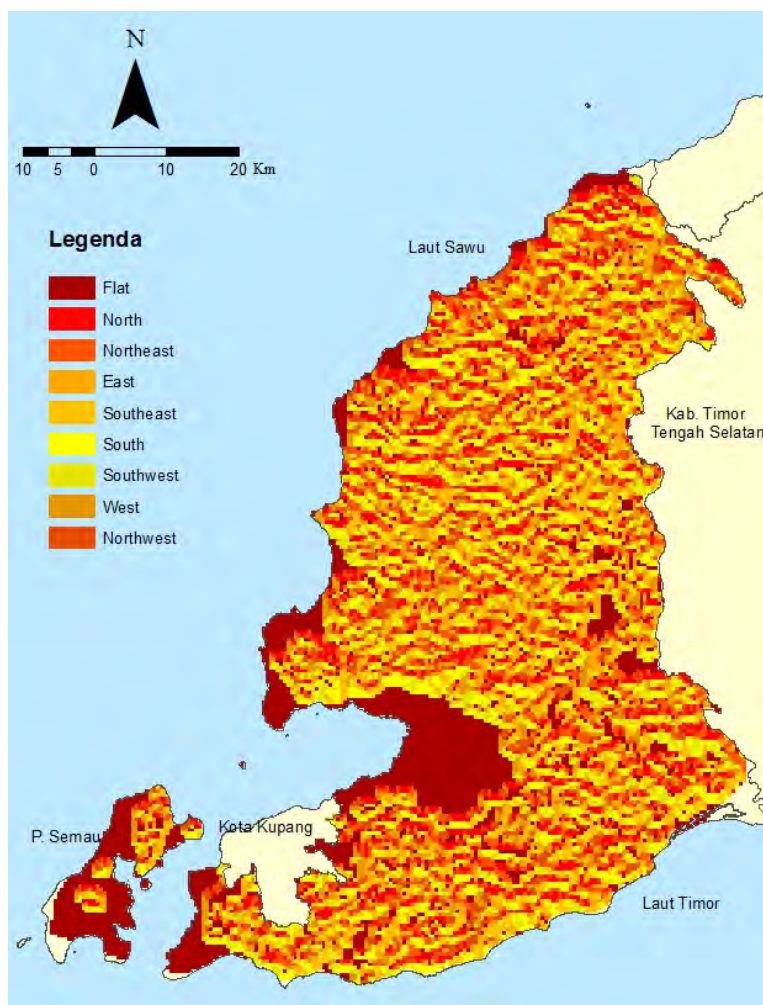
Kelas Relief	Kemiringan Lereng (%)	Keterangan
Datar - Hampir datar	0 - 2	-
Berombak	3 - 7	-
Berombak - Bergelombang	8 - 13	--
Bergelombang - Berbukit	14 - 20	-
Berbukit - Pegunungan	21 - 55	Area Konstrain



Gambar 4.4 Peta Kemiringan Lereng

4.1.2.4 Kriteria Arah Orientasi

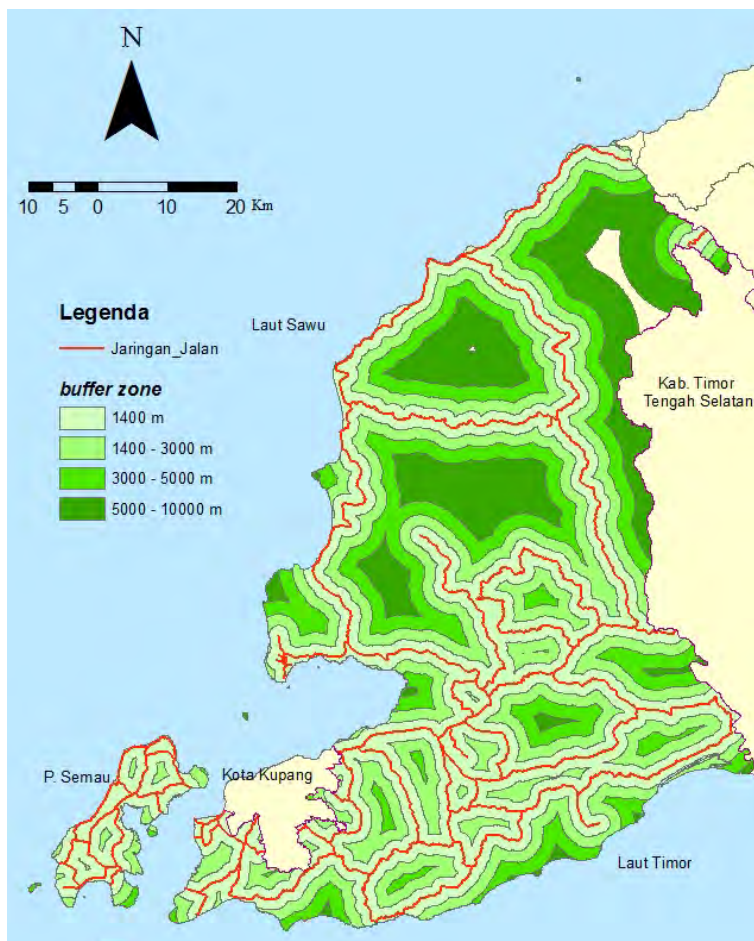
Data input untuk kriteria arah orientasi adalah data kontur Kabupaten Kupang dengan interval 100 m. Indikator kriteria arah orientasi yang ditentukan sesuai dengan arah mata angin, yaitu *north*, *north west*, *north east*, *west*, *east*, *south*, *southwest*, *south east*. Pembuatan arah orientasi ini menggunakan *aspect tools* dalam *analyst tools*. Di Indonesia arah orientasi untuk mendapatkan radiasi matahari yang maksimal adalah menghadap utara. Hasil pengolahan data arah orientasi dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5. Peta Arah Orientasi

4.1.2.5 Kriteria Jarak terhadap Jalan

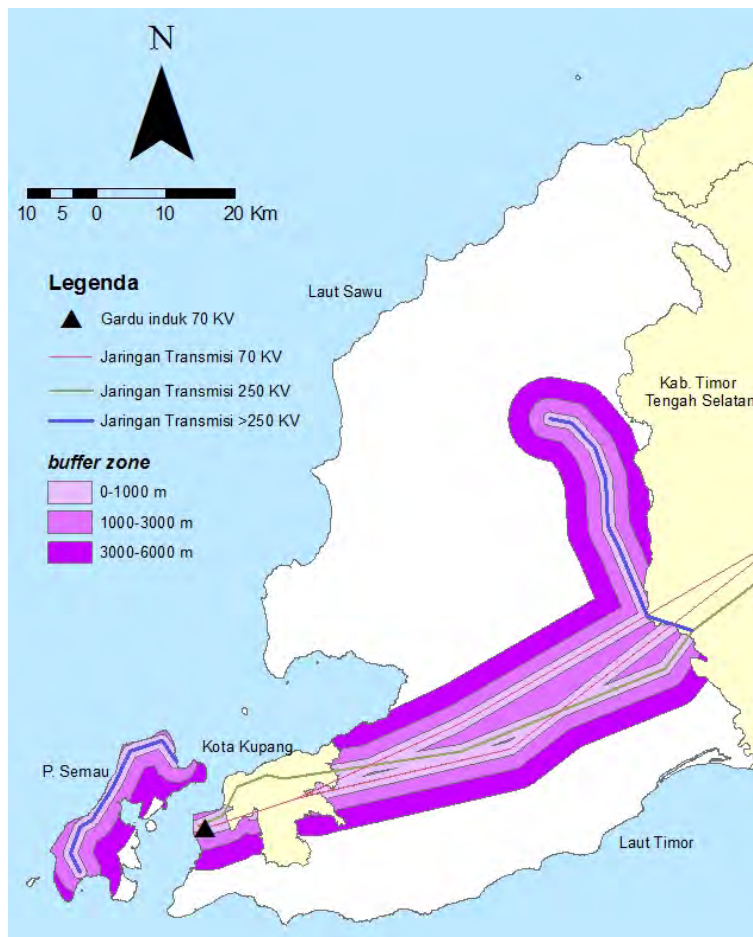
Data input untuk kriteria jarak terhadap jalan adalah data jaringan jalan Kabupaten Kupang. Indikator kriteria jarak dengan jalan ditentukan dengan interval 0 – 1,4 km, 1,4 – 3 km, 3 – 5 km, dan 5 – 10 km. Penentuan interval ini menggunakan *buffer tool* dalam fasilitas *Geoprocessing* di *ArcMap*. Pertimbangan kriteria jarak terhadap jalan semakin dekat lokasi PLTS terhadap jalan semakin baik, karena dapat mengurangi biaya operasional. Hasil pengolahan data jaringan jalan dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Peta jaringan jalan dan buffer zone kriteria jarak terhadap jalan

4.1.2.6 Kriteria Jarak terhadap Gardu Induk / Grid PLN

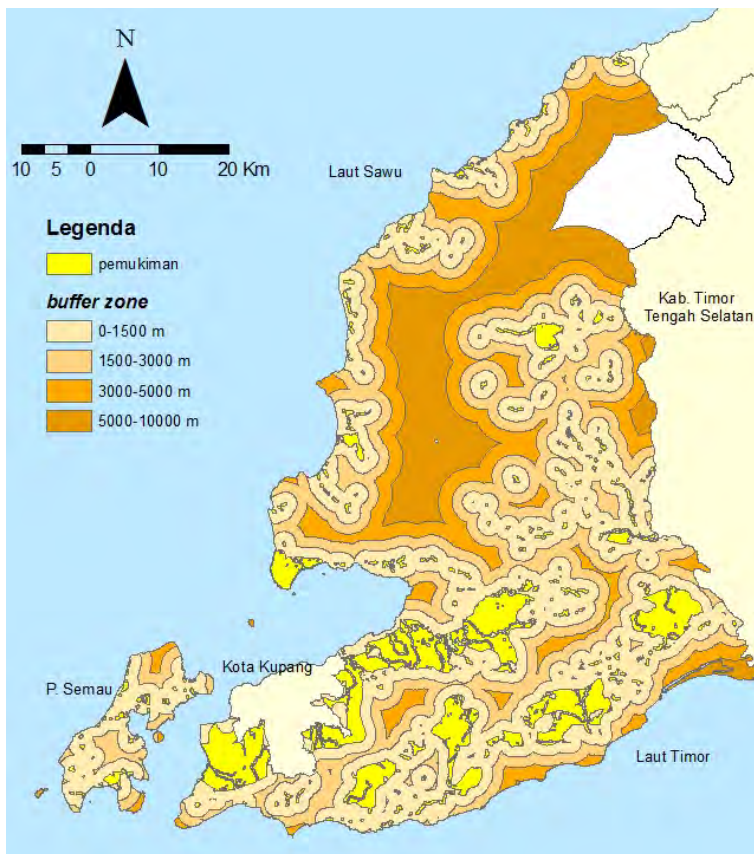
Data input untuk kriteria jarak terhadap gardu induk / grid PLN adalah data jaringan listrik Kabupaten Kupang. Indikator kriteria jarak dengan gardu induk / grid PLN ditentukan dengan interval 0 – 1 km, 1 – 3 km, 3 – 6 km, dan diatas 3 km. Penentuan interval ini menggunakan *buffer tool* dalam fasilitas *Geoprocessing* di *ArcMap*. Pertimbangan kriteria jarak terhadap gardu induk / grid PLN adalah semakin dekat PLTS dengan gardu induk / grid PLN semakin baik, karena dapat mengurangi biaya penghantar dan mengurangi potensi kehilangan energi listrik. Hasil pengolahan data jaringan listrik dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.7. Peta Gardu Induk / Grid PLN dan buffer zone kriteria jarak terhadap GI / Grid PLN

4.1.2.7 Kriteria Jarak terhadap Permukiman / Kota

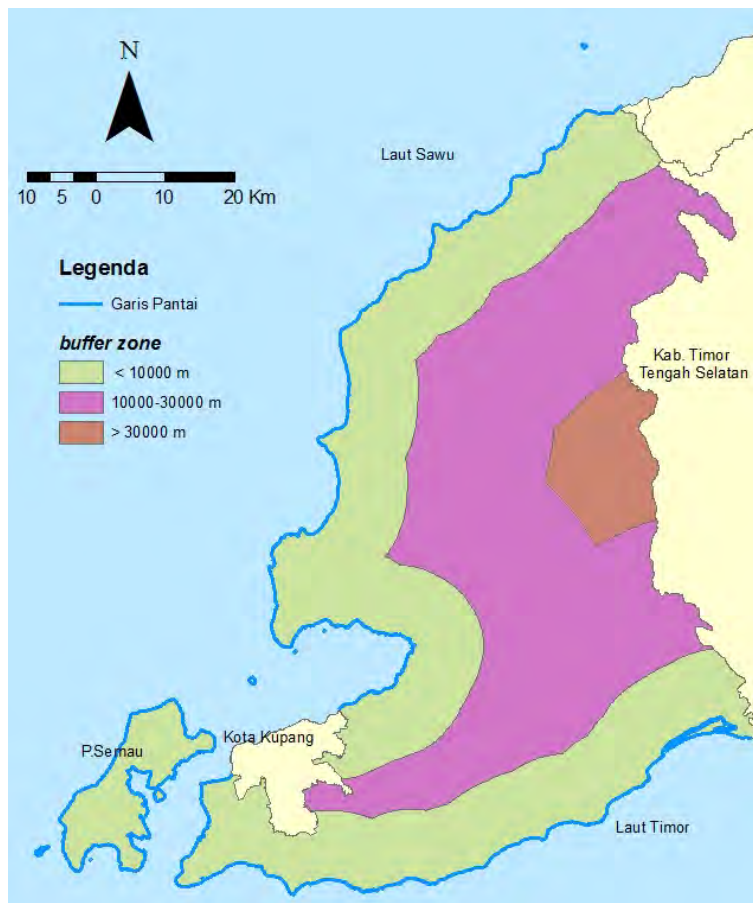
Data input untuk kriteria jarak terhadap Permukiman / Kota adalah data permukiman Kabupaten Kupang yang tidak terpisahkan dalam data rencana kawasan Budidaya. Indikator kriteria jarak terhadap Permukiman / Kota ditentukan dengan interval 0 – 1,5 km, 1,5 – 3 km, 3 – 5 km, dan 5 – 10 km. Penentuan interval ini menggunakan *buffer tool* dalam fasilitas *Geoprocessing* di *ArcMap*. Pertimbangan kriteria jarak terhadap Permukiman / Kota adalah semakin jauh lokasi PLTS, dapat mengurangi dampak negatif lingkungan pada pertumbuhan dan populasi penduduk kota. Hasil pengolahan data peruntukan permukiman / kota dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Peta permukiman / Kota dan buffer zone kriteria jarak terhadap permukiman / Kota

4.1.2.8 Kriteria Jarak terhadap Laut / Garis Pantai

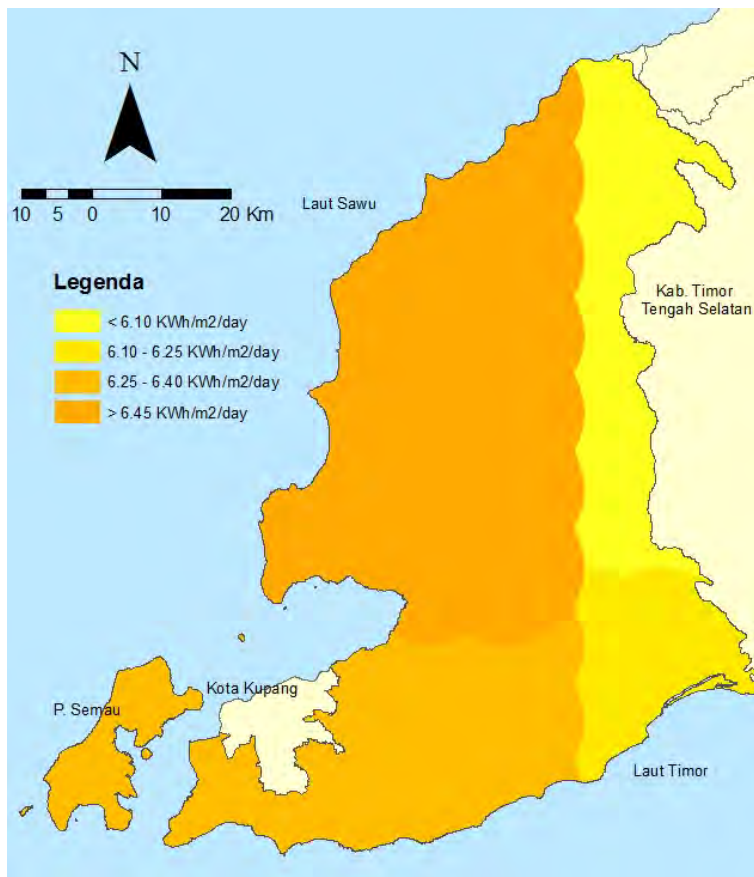
Data input untuk kriteria jarak terhadap Laut / Garis Pantai adalah data administrasi garis pantai Kabupaten Kupang. Indikator kriteria jarak terhadap Laut / Garis Pantai ditentukan dengan interval 0 – 10 km, 10 – 30 km, dan diatas 30 km. Penentuan interval ini menggunakan *buffer tool* dalam fasilitas *Geoprocessing* di *ArcMap*. Pertimbangan kriteria jarak terhadap Laut / Garis Pantai adalah semakin jauh lokasi PLTS dengan laut / pantai semakin baik, karena dapat mengurangi laju korosi panel sel surya. Hasil pengolahan data garis pantai dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Peta Garis Pantai dan buffer zone kriteria jarak terhadap Garis Pantai

4.1.2.9 Kriteria Potensi Radiasi Matahari

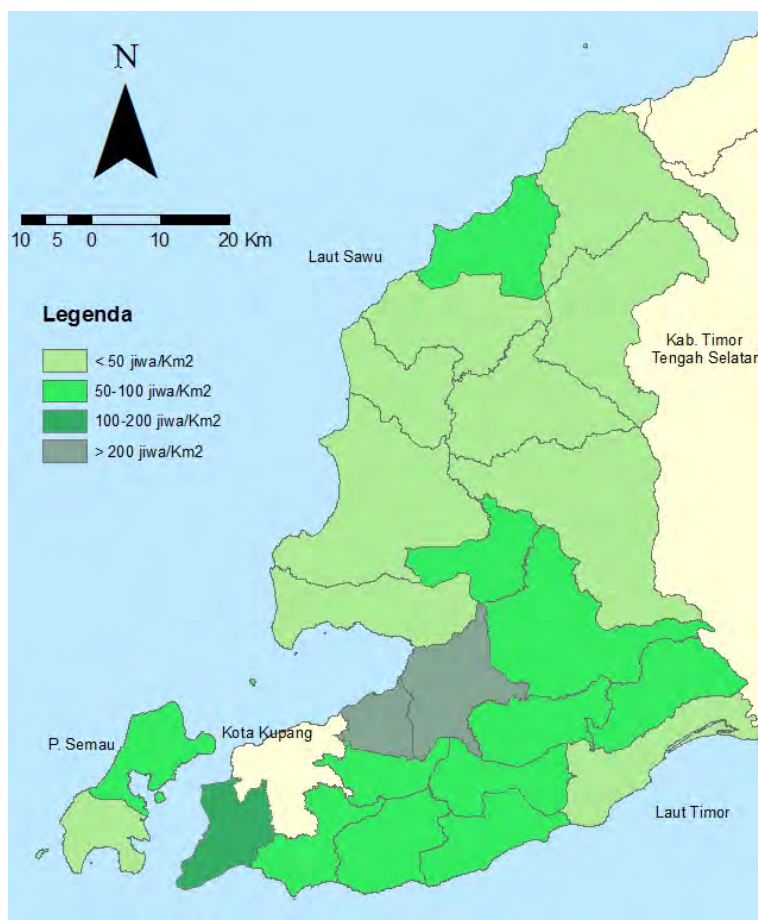
Data input untuk kriteria potensi radiasi matahari adalah data radiasi energy surya yang diperoleh dan dikembangkan oleh National Aeronautics Space Administration (NASA), pengambilan data sampel dilakukan secara acak secara rata di Kabupaten Kupang. Indikator kriteria potensi radiasi matahari ditentukan dengan interval kurang dari 6,10 KWh/m²/day, 6,10 – 6,25 KWh/m²/day, 6,25 – 6,40 KWh/m²/day, dan diatas 6,40 KWh/m²/day. Penentuan interval ini menggunakan *buffer tool* dalam fasilitas *Geoprocessing* di *ArcMap*. Pertimbangan kriteria jarak terhadap potensi radiasi matahari adalah semakin tinggi nilai radiasinya semakin diutamakan. Hasil pengolahan data potensi radiasi matahari dilihat pada



Gambar 4.10. Peta Potensi Radiasi Matahari

4.1.2.10 Kriteria Kepadatan Penduduk

Data input untuk kriteria Kepadatan Penduduk adalah data kepadatan penduduk setiap kecamatan di Kabupaten Kupang. Indikator kriteria kepadatan penduduk adalah kurang dari 50 jiwa/Km², 50-100 jiwa/Km², 100-200 jiwa/Km², dan lebih dari 200 jiwa/Km². Pertimbangan kriteria kepadatan penduduk adalah semakin padat penduduknya, semakin baik lokasi PLTS . Hasil pengolahan data kepadatan penduduk dapat dilihat pada Gambar 4.11



Gambar 4.11. Peta Kepadatan Penduduk

4.2 Pembobotan setiap kriteria

Dalam penelitian ini AHP digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan dan memberikan bobot pada setiap kriteria. Setiap elemen yang terdapat dalam hirarki harus diketahui bobot relatifnya satu sama lain. Dalam menentukan koefisien tingkat kepentingan kriteria yang ditampilkan dibutuhkan persepsi seorang ahli yang peneliti ambil dari penilaian ahli sebelumnya (Sánchez-Lozano, García-Cascales, & Lamata, 2015), sebagai berikut:

$$C9 > C4 = C3 > C2 = C6 = C8 = C7 > C5 > C1 > C10$$

Langkah 1 : Untuk menetapkan prioritas dilakukan dengan menyusun matriks perbandingan berpasangan yaitu membandingkan seluruh elemen untuk setiap hirarki. Penilaian perbandingan ini menggunakan 9 nilai skala yang telah ditentukan oleh Saaty. Dalam subsistem operasi ini terdapat 10 elemen operasi, maka hasil perbandingan dari elemen-elemen operasi tersebut akan membentuk matriks berukuran 10 x10 seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Matriks Perbandingan Berpasangan

Kriteria	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>	<i>C8</i>	<i>C9</i>	<i>C10</i>
<i>C1</i>	1	1/6	1/7	1/6	1/3	1/4	1/4	1/4	1/7	3
<i>C2</i>	6	1	1/3	1/3	4	1	1	1	1/5	7
<i>C3</i>	7	3	1	1	6	4	5	4	1/4	8
<i>C4</i>	6	3	1	1	5	3	4	4	1/3	7
<i>C5</i>	3	1/4	1/6	1/5	1	1/4	1/3	1/3	1/6	4
<i>C6</i>	4	1	1/4	1/3	4	1	1	1	1/5	5
<i>C7</i>	4	1	1/5	1/4	3	1	1	1	1/5	5
<i>C8</i>	4	1	1/4	1/4	3	1	1	1	1/5	5
<i>C9</i>	7	5	4	3	6	5	5	5	1	8
<i>C10</i>	1/3	1/7	1/8	1/7	1/4	1/5	1/5	1/5	1/8	1
Jumlah	42.3	15.6	7.5	6.7	32.6	16.7	18.8	17.8	2.8	53.0

Langkah 2 : berdasarkan matriks perbandingan berpasangan maka dilakukan normalisasi dengan langkah-langkah sebagai berikut, menjumlahkan bobot di setiap kolom, lalu nilai setiap kolom dibagi dengan total nilai kolomnya, dan selanjutnya dengan menghitung vektor prioritas relatif dari setiap kriteria dengan merata-ratakan bobot yang sudah dinormalisasi. Untuk menghitung bobot (eigenvector) nilai rata-rata dibagi sejumlah n kriteria (10). Hasil akhir penghitungan bobot prioritas (nilai eigenvector) tersebut merupakan suatu

bilangan decimal di bawah satu dengan total prioritas untuk kriteria-kriteria dalam satu kelompok sama dengan satu (1). Hasil perhitungan matrik ternormalisasi ditampilkan pada Tabel 4.4. Contoh perhitungan manual dalam tabel matrik ternormalisasi dicetak warna merah muda.

$$\begin{aligned}
 V_{ij} &= \frac{a_{ij}}{S_{ij}} \\
 V_{21} &= \frac{a_{21}}{S_{21}} \\
 &= \frac{6}{42.3} \\
 &= 0.142
 \end{aligned}
 \qquad
 \begin{aligned}
 P_i &= \sum_{i=1}^n \frac{Q_{ij}}{n} \\
 P_2 &= \sum_{i=1}^{10} \frac{Q_{21}}{10} \\
 &= \frac{0.796}{10} \\
 &= 0.0792 \approx 0.08 \\
 &= 8\%
 \end{aligned}$$

Tabel 4.4. Matriks Ternormalisasi

Kriteria	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>	<i>C8</i>	<i>C9</i>	<i>C10</i>	Jumlah	Bobot (%)
<i>C1</i>	0.024	0.011	0.019	0.025	0.010	0.015	0.013	0.014	0.051	0.057	0.238	2.4
<i>C2</i>	0.142	0.064	0.045	0.050	0.123	0.060	0.053	0.056	0.071	0.132	0.796	8.0
<i>C3</i>	0.165	0.193	0.134	0.150	0.184	0.240	0.266	0.225	0.089	0.151	1.796	18.0
<i>C4</i>	0.142	0.193	0.134	0.150	0.153	0.180	0.213	0.225	0.118	0.132	1.640	16.4
<i>C5</i>	0.071	0.016	0.022	0.030	0.031	0.015	0.018	0.019	0.059	0.075	0.356	3.6
<i>C6</i>	0.094	0.064	0.033	0.050	0.123	0.060	0.053	0.056	0.071	0.094	0.700	7.0
<i>C7</i>	0.094	0.064	0.027	0.037	0.092	0.060	0.053	0.056	0.071	0.094	0.650	6.5
<i>C8</i>	0.094	0.064	0.033	0.037	0.092	0.060	0.053	0.056	0.071	0.094	0.656	6.6
<i>C9</i>	0.165	0.321	0.536	0.449	0.184	0.299	0.266	0.281	0.355	0.151	3.008	30.1
<i>C10</i>	0.008	0.009	0.017	0.021	0.008	0.012	0.011	0.011	0.044	0.019	0.160	1.6
jumlah											100	

Langkah 3 : Untuk menghitung konsistensi sebuah matriks sebanyak n berdasarkan nilai eigenvalue maksimal, (λ_{maks}) serta menentukan nilai indeks konsistensi (CI). Indeks inkonsistensi kemudian diubah ke dalam bentuk rasio inkonsistensi (CR) dengan cara membagi dengan suatu indeks random (RI). Indeks random menyatakan rata-rata konsistensi dan matrik perbandingan, besarnya nilai RI untuk 10 kriteria sebesar 1,49 seperti pada Tabel 3.3 Matriks perbandingan dianggap konsisten jika nilai CR tidak lebih dari 10% atau $CR \leq 0,1$.

Besar nilai CI

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1}$$

$$CI = \frac{10,8 - 10}{9} = 0,089$$

Besar nilai CR

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CR = \frac{0,089}{1,49} = 0,06$$

Didapatkan nilai $CI = 0,089$ dan nilai $CR = 0,06$, maka preferensi pembobotan bersifat konsisten sehingga dapat dilakukan proses selanjutnya, yaitu perangkingan dengan metode TOPSIS.

Perhitungan lengkap metode AHP dapat dilihat pada Lampiran 1 Perhitungan AHP.

4.3 Perangkingan alternatif

Dalam penelitian ini TOPSIS digunakan untuk menentukan ranking setiap alternatif. TOPSIS didasarkan pada konsep dimana alternatif terpilih yang terbaik tidak hanya memiliki jarak terpendek dari solusi ideal positif, namun juga memiliki jarak terpanjang dari solusi ideal negative. Nilai matriks pembobotan didapatkan dari proses sebelumnya melalui metode AHP.

Kesesuaian lokasi pembangunan PLTS terdiri dari area konstrain dan area potensial. Area potensial dibagi menjadi empat kategori alternatif yaitu *very suitable* (sangat sesuai), *suitable* (sesuai), *moderate suitable* (cukup sesuai), dan *poor* (rendah). dimana dari pengolahan data spasial muncul alternatif sesuai kategori yang sudah ditentukan sebanyak 4.641 alternatif. Hasil penghitungan nilai alternatif sebagai berikut

Langkah 1 : Hasil perhitungan matrik normalisasi terbobot ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Matriks Normalisasi Terbobot

Alternatif	$C1$	$C2$	$C3$	$C4$	$C5$	$C6$	$C7$	$C8$	$C9$	$C10$
<i>Very Suitable</i>	0.021	0.058	0.131	0.120	0.026	0.051	0.047	0	0.220	0.012
<i>Suitable</i>	0.011	0.044	0.098	0.090	0.019	0.038	0.036	0.055	0.165	0.009
<i>Moderate Suitable</i>	0	0.029	0.066	0.060	0.013	0.026	0.024	0.033	0.110	0.006
<i>Poor</i>	0	0.015	0.033	0.030	0.006	0.013	0.012	0.016	0.055	0.003

Langkah 2 : Besarnya nilai solusi ideal positif (A^+) dan solusi ideal negatif (A^-) seperti pada Tabel 4.6 berikut

Tabel 4.6. Solusi Ideal Positif dan Negatif

	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>	<i>C8</i>	<i>C9</i>	<i>C10</i>
A^+	0.021	0.058	0.131	0.120	0.026	0.051	0.047	0.055	0.220	0.012
A^-	0	0.015	0.033	0.030	0.006	0.013	0.012	0	0.055	0.003

Langkah 3 : Besarnya nilai separasi dari solusi ideal positif (S^+) dan nilai separasi dari solusi ideal negatif (S^-), serta kedekatan relative terhadap solusi ideal (T) seperti pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7. Nilai Separasi dan Solusi Ideal

Alternatif	S^+	S^-	T
<i>VS</i>	0.055	0.225	0.805
<i>S</i>	0.075	0.159	0.679
<i>MS</i>	0.152	0.081	0.349
<i>P</i>	0.228	0.016	0.067

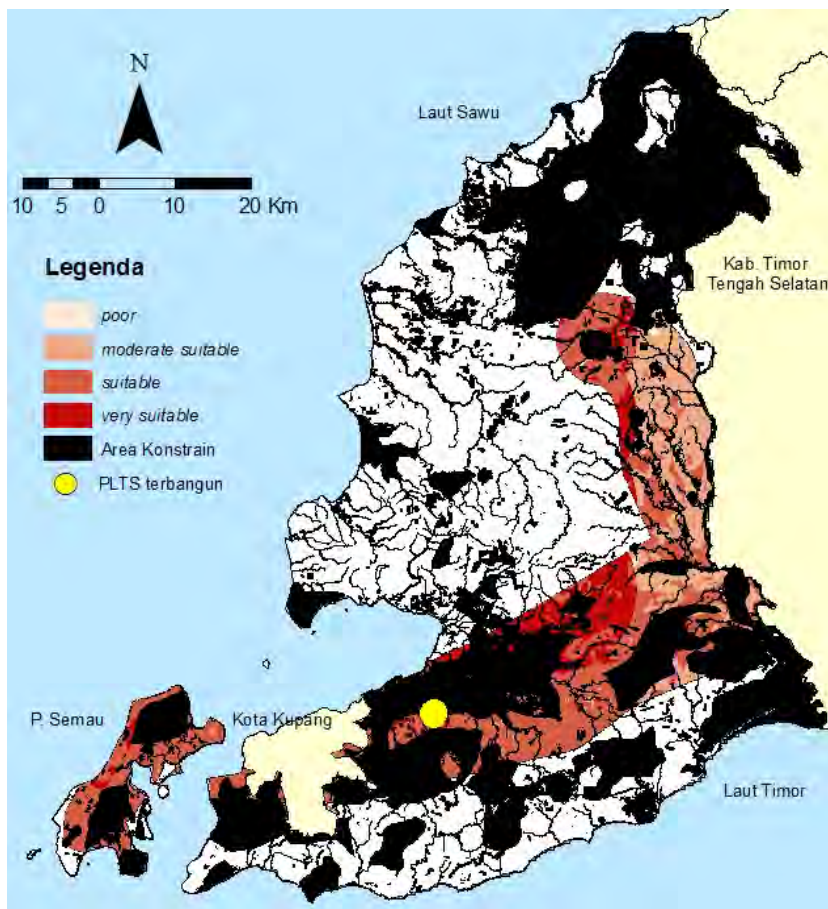
Sehingga didapatkan rentang nilai alternatif seperti pada Tabel 4.8 sebagai berikut

Tabel 4.8. Rentang Nilai Alternatif

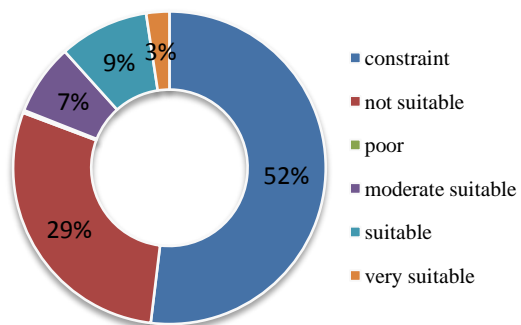
Alternatif	Rentang nilai
<i>Very Suitable</i>	0.679 - 0.805
<i>Suitable</i>	0.349 - 0.679
<i>Moderate Suitable</i>	0.067 - 0.349
<i>Poor</i>	0 - 0.067

Hasil perangkingan menggunakan TOPSIS menunjukkan kesesuaian lokasi dibagi menjadi empat kategori, yaitu *very suitable* (sangat sesuai) sebesar 12.106 Ha (2,4 %), *suitable* (sesuai) sebesar 46.990 Ha (9,3%), *moderate suitable* (cukup sesuai) sebesar 37.155 Ha (7,3%), dan *poor* (rendah) sebesar 1.412 (0,3%) seperti pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13

Perhitungan lengkap metode TOPSIS dapat dilihat pada Lampiran 2 Perhitungan TOPSIS.



Gambar 4.12. Peta Kesesuaian Lokasi PLTS

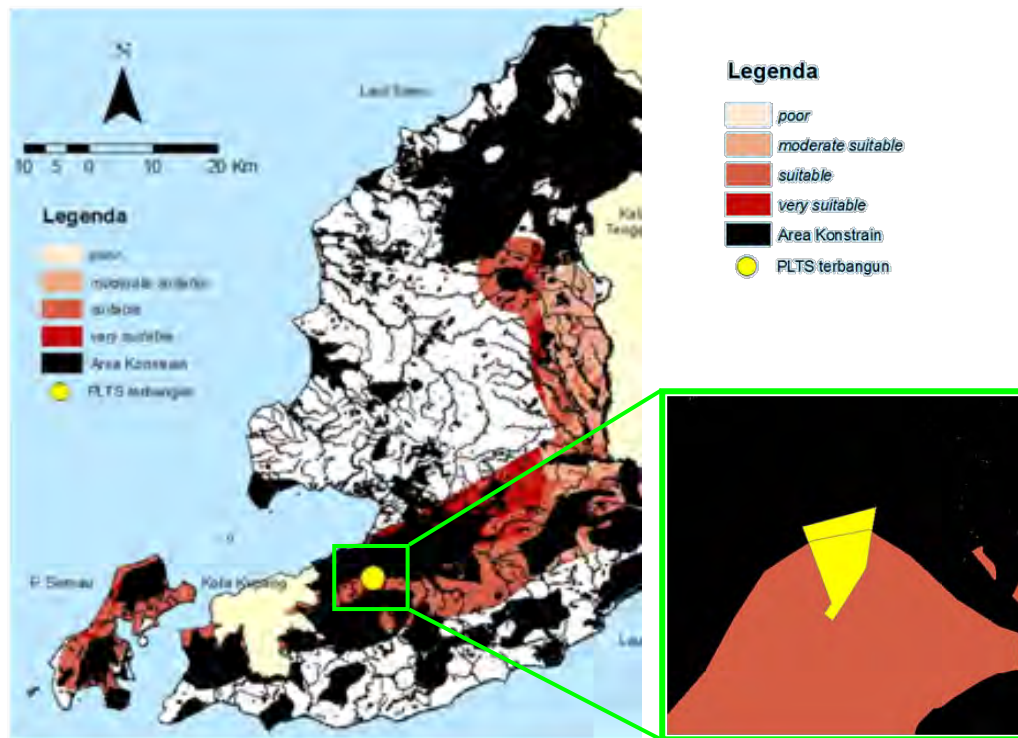


Gambar 4.13 Distribusi Kesesuaian Lokasi PLTS

4.4 Lokasi PLTS terbangun terhadap hasil penentuan alternatif kesesuaian lokasi

Lokasi PLTS terbangun di Kabupaten Kupang seluas 6,24 Ha sebagian besar berada pada area alternatif *suitable*. Namun, sebagian areanya, yaitu seluas

4,45 Ha (71%) berada pada area alternatif *suitable* dan seluas 1,79 Ha (29%) berada pada area konstrain, lebih tepatnya pada kawasan permukiman, seperti pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Lokasi PLTS terbangun di Kabupaten Kupang

Dalam penelitian ini zona permukiman penulis tetapkan sebagai area konstrain karena pertimbangan untuk mengurangi dampak negatif lingkungan pada pertumbuhan dan populasi penduduk.

Dilihat dari Perda Nomor 1 Tahun 2015 tentang RTRW Kabupaten Kupang, rencana struktur ruang untuk jaringan pembangkit listrik dalam hal ini PLTS skala besar diarahkan pada kawasan industri dan zona pertumbuhan. Namun, dalam pengendalian pemanfaatan ruang, ketentuan umum peraturan zonasi kawasan peruntukan permukiman mengizinkan dengan syarat untuk kegiatan yang berupa fasilitas umum (dalam hal ini PLTS) dengan ketentuan sebagai berikut

1. Pada kawasan permukiman yang mempunyai kepadatan tinggi dan cenderung kumuh diperlukan perbaikan lingkungan permukiman secara partisipatif.

2. Mempertahankan kawasan permukiman yang ditetapkan sebagai cagar budaya.
3. Pengembangan permukiman produktif tanpa harus mengganggu lingkungan sekitarnya.
4. Pemanfaatan ruang di sekitar jaringan energi harus memperhitungkan aspek keamanan dan keselamatan kawasan sekitarnya.
5. Intensitas pemanfaatan memperhatikan aspek lingkungan sehingga tidak menyebabkan degradasi lingkungan
6. Penyediaan kelengkapan/ sarana perlindungan terkait tanggap pada resiko bahaya.

LAMPIRAN 1
PERHITUNGAN AHP

Step 1 : Matrik Pairwise Comparison

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	1	1/6	1/7	1/6	1/3	1/4	1/4	1/4	1/7	3
C2	6	1	1/3	1/3	4	1	1	1	1/5	7
C3	7	3	1	1	6	4	5	4	1/4	8
C4	6	3	1	1	5	3	4	4	1/3	7
C5	3	1/4	1/6	1/5	1	1/4	1/3	1/3	1/6	4
C6	4	1	1/4	1/3	4	1	1	1	1/5	5
C7	4	1	1/5	1/4	3	1	1	1	1/5	5
C8	4	1	1/4	1/4	3	1	1	1	1/5	5
C9	7	5	4	3	6	5	5	5	1	8
C10	1/3	1/7	1/8	1/7	1/4	1/5	1/5	1/5	1/8	1

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	1	0.167	0.143	0.167	0.333	0.250	0.250	0.250	0.143	3
C2	6	1	0.333	0.333	4	1	1	1	0.200	7
C3	7	3	1	1	6	4	5	4	0.250	8
C4	6	3	1	1	5	3	4	4	0.333	7
C5	3	0.250	0.167	0.200	1	0.250	0.333	0.333	0.167	4
C6	4	1	0.250	0.333	4	1	1	1	0.200	5
C7	4	1	0.200	0.250	3	1	1	1	0.200	5
C8	4	1	0.250	0.250	3	1	1	1	0.200	5
C9	7	5	4	3	6	5	5	5	1	8
C10	0.333	0.143	0.125	0.143	0.250	0.200	0.200	0.200	0.125	1
Σ	42.333	15.560	7.468	6.676	32.583	16.700	18.783	17.783	2.818	53

Step 2 : Normalized Matrix

n = 10

	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>	<i>C8</i>	<i>C9</i>	<i>C10</i>	Σ	<i>Eigen Vektor (λ)</i>	<i>Eigen Value</i>
<i>C1</i>	0.024	0.011	0.019	0.025	0.010	0.015	0.013	0.014	0.051	0.057	0.238	0.024	0.243
<i>C2</i>	0.142	0.064	0.045	0.050	0.123	0.060	0.053	0.056	0.071	0.132	0.796	0.080	0.852
<i>C3</i>	0.165	0.193	0.134	0.150	0.184	0.240	0.266	0.225	0.089	0.151	1.796	0.180	2.033
<i>C4</i>	0.142	0.193	0.134	0.150	0.153	0.180	0.213	0.225	0.118	0.132	1.640	0.164	1.848
<i>C5</i>	0.071	0.016	0.022	0.030	0.031	0.015	0.018	0.019	0.059	0.075	0.356	0.036	0.365
<i>C6</i>	0.094	0.064	0.033	0.050	0.123	0.060	0.053	0.056	0.071	0.094	0.700	0.070	0.758
<i>C7</i>	0.094	0.064	0.027	0.037	0.092	0.060	0.053	0.056	0.071	0.094	0.650	0.065	0.699
<i>C8</i>	0.094	0.064	0.033	0.037	0.092	0.060	0.053	0.056	0.071	0.094	0.656	0.066	0.708
<i>C9</i>	0.165	0.321	0.536	0.449	0.184	0.299	0.266	0.281	0.355	0.151	3.008	0.301	3.420
<i>C10</i>	0.008	0.009	0.017	0.021	0.008	0.012	0.011	0.011	0.044	0.019	0.160	0.016	0.168

Step 3 : Consistency Ratio (CR)

Eigen Maximum

$\lambda_{\max} = 10.799$

Consistency Index (CI)

CI = 0.089

Consistency Ratio (CR)

CR = CI / RI

= 0.060

karena CR < 0,100 maka preferensi pembobotan konsisten

NILAI BOBOT TERHITUNG

peruntukan lahan	C1	0.024
badan air	C2	0.080
kemiringan	C3	0.180
arah orientasi	C4	0.164
jarak terhadap jalan	C5	0.036
jarak terhadap gardu induk/grid PLN	C6	0.070
jarak terhadap pemukiman/kota	C7	0.065
jarak terhadap laut/garis pantai	C8	0.066
potensi radiasi matahari	C9	0.301
kepadatan penduduk	C10	0.016

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 2
PERHITUNGAN TOPSIS

Skoring Kriteria

Alternatif	Kriteria									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Very Suitable	dijinkan	> 2000 m	0 - 2 %	flat & north	1,4 - 3 km	0 - 1 km	0 - 1,5 km	≤ 30km	< 6,10 KWh/m2/hari	< 50 jiwa/Km2
Suitable	dijinkan bersyarat	1000 - 2000 m	3 - 7 %	north west & north east	3 - 5 km	1 - 3 km	1,5 - 3 km	≤ 30km	6.10 – 6.25 KWh/m2/hari	50 – 100 jiwa/Km2
Moderat Suitable	-	300 - 1000 m	8 - 13 %	west & east	5 - 10 km	3 - 6 km	3 - 5 km	10 - 30 km	6.25 – 6.40 KWh/m2/hari	100 – 200 jiwa/Km2
Poor	-	100 - 300 m	14 - 20 %	south & southwest & south east	> 10 km	> 6 km	5 - 10 km	≥ 10 km	> 6.40 KWh/m2/hari	> 200 jiwa/Km2

keterangan

- C1 = peruntukan lahan
- C2 = badan air
- C3 = kemiringan
- C4 = arah orientasi
- C5 = jarak terhadap jalan
- C6 = jarak terhadap gardu induk/grid pln
- C7 = jarak terhadap pemukiman/kota
- C8 = jarak terhadap laut/garis pantai
- C9 = potensi radiasi matahari
- C10 = PDRB

Decision Matrix

<i>Alternatives</i>	<i>Criteria</i>									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
<i>Very Suitable</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Suitable</i>	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1	0.75	0.75
<i>Moderat Suitable</i>	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5
<i>Poor</i>	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.3	0.25	0.25
<i>Divisor</i>	1.118	1.369	1.369	1.369	1.369	1.369	1.369	1.204	1.369	1.369

Step 1 : Normalized Decision Matrix

<i>Alternatives</i>	<i>Criteria</i>									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
<i>Very Suitable</i>	0.894	0.730	0.730	0.730	0.730	0.730	0.730	0	0.730	0.730
<i>Suitable</i>	0.447	0.548	0.548	0.548	0.548	0.548	0.548	0.830	0.548	0.548
<i>Moderat Suitable</i>	0	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365	0.365	0.498	0.365	0.365
<i>Poor</i>	0	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	0.249	0.183	0.183

Weight (from AHP method)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
<i>Weight</i>	0.024	0.080	0.180	0.164	0.036	0.070	0.065	0.066	0.301	0.016

Weighted Normalized Decision Matrix

Alternatives	Criteria									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Very Suitable	0.021	0.058	0.131	0.120	0.026	0.051	0.047	0	0.220	0.012
Suitable	0.011	0.044	0.098	0.090	0.019	0.038	0.036	0.055	0.165	0.009
Moderat Suitable	0	0.029	0.066	0.060	0.013	0.026	0.024	0.033	0.110	0.006
Poor	0	0.015	0.033	0.030	0.006	0.013	0.012	0.016	0.055	0.003

Step 2 : Solutions

Solution	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Max / A+	0.021	0.058	0.131	0.120	0.026	0.051	0.047	0.055	0.220	0.012
Min / A-	0	0.015	0.033	0.030	0.006	0.013	0.012	0	0.055	0.003

Step 3 : Distance to A+ and A-

A+

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	S+
Very Suitable	0	0	0	0	0	0	0	0.002972	0	0	0.055
Suitable	0.000114	0.000211	0.001076	0.000896	4.22E-05	0.000163	0.000141	0	0.003017	8.53E-06	0.075
Moderat Suitable	0.000454	0.000844	0.004302	0.003584	0.000169	0.000653	0.000563	0.000475	0.012067	3.41E-05	0.152
Poor	0.000454	0.0019	0.00968	0.008065	0.00038	0.001468	0.001266	0.001456	0.027152	7.68E-05	0.228

A-

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	S-
Very Suitable	0.000454	0.0019	0.00968	0.008065	0.00038	0.001468	0.001266	0	0.027152	7.68E-05	0.225
Suitable	0.000114	0.000844	0.004302	0.003584	0.000169	0.000653	0.000563	0.002972	0.012067	3.41E-05	0.159
Moderat Suitable	0	0.000211	0.001076	0.000896	4.22E-05	0.000163	0.000141	0.00107	0.003017	8.53E-06	0.081
Poor	0	0	0	0	0	0	0	0.000267	0	0	0.016

Final Step : Rating

	<i>T</i>	<i>Alternatives Span</i>
<i>Very Suitable</i>	0.805	0.679 - 0.805
<i>Suitable</i>	0.679	0.349 - 0.679
<i>Moderat Suitable</i>	0.349	0.067 - 0.349
<i>Poor</i>	0.067	0 - 0.067

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab kelima ini merupakan kesimpulan dari penelitian ini dan saran peneliti terhadap penelitian berikutnya.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka terdapat beberapa poin yang bisa ditarik sebagai kesimpulan:

1. Penentuan lokasi PLTS dalam penelitian ini menggunakan SIG dan metode MCDM. Integrasi antara SIG dengan MCDM merupakan salah satu alat yang sangat efektif untuk memecahkan permasalahan yang bersifat multikriteria dalam mengambil keputusan untuk penentuan lokasi PLTS menjadi lebih mudah dan terarah.
2. Struktur AHP yang berhirarki dan membagi kriteria menjadi sub kriteria yang lebih kecil menjadi keunggulan metode ini karena menjadi lebih sederhana sehingga penilai dapat memberikan penilaian yang objektif.
3. Metode TOPSIS memberikan solusi untuk masalah multikriteria dengan nilai range yang luas (berjauhan). Hal ini terlihat pada tahap perhitungan jarak antara nilai setiap alternatif dengan matrik solusi ideal positif dan matriks ideal negatif.
4. Pemilihan kriteria dan hierarki yang direncanakan, serta penilaian ahli untuk menentukan tingkat kepentingan setiap kriteria pada metode AHP sangat berpengaruh pada hasil keputusan.
5. Pemberian bobot pada penyusun prioritas sangat berpengaruh terhadap hasilnya, jika rentang perbedaan antara kriteria satu dengan kriteria yang lain semakin besar, maka hasil perhitungan juga berbeda dan tingkat dominasi pada setiap kriteria akan berbeda pula tergantung besar kecil prioritasnya.

6. Hasil pembobotan menggunakan AHP menunjukkan bahwa kriteria paling tertinggi adalah potensi radiasi matahari sebesar 30,1%, kemiringan 18%, arah orientasi 16,4%, badan air 8%, jarak terhadap gardu induk/ grid PLN 7%, jarak terhadap laut 6,6%, jarak terhadap permukiman/kota 6,5%, jarak terhadap jalan 3,6%, peruntukan lahan 2,4% dan kepadatan penduduk 1,6%. Kriteria potensi radiasi matahari merupakan yang tertinggi karena PLTS ini memiliki sistem Solar Photovoltaic, dimana energi utama yang akan diubah menjadi energi listrik adalah energi dari potensi radiasi matahari. Kriteria selanjutnya adalah kemiringan dan arah orientasi, dimana pembangunan PLTS diharapkan berada di daerah sedatar mungkin dan cenderung mengarah ke utara.
7. Hasil perangkingan menggunakan TOPSIS menunjukkan kesesuaian lokasi dibagi menjadi empat alternatif, yaitu *very suitable* (sangat sesuai) sebesar 12.106 Ha (2,4 %), *suitable* (sesuai) sebesar 46.990 Ha (9,3%), *moderate suitable* (cukup sesuai) sebesar 37.155 Ha (7,3%), dan *poor* (rendah) sebesar 1.412 (0,3%). Area tidak sesuai sebesar 145.953 Ha (28,8%) dan area dilarang (konstrain) sebesar 263.010 Ha (51,91%).
8. PLTS terbangun di Kabupaten Kupang seluas 6,24 Ha sebagian besar berada pada lokasi alternatif *suitable* (sesuai) dengan rincian seluas 4,45 Ha (71%) berada pada area alternatif *suitable* dan 1,79 Ha (29%) berada pada area konstrain
9. Data kontur yang digunakan untuk membuat kemiringan lereng dan arah orientasi menggunakan interval 100 m, sedangkan sesuai dengan aturan kartografis, untuk skala ketelitian peta tingkat kabupaten adalah 1:50.000 idealnya interval kontur yang digunakan adalah 25 m.

5.2 Saran

Beberapa saran dan rekomendasi yang dapat dilakukan untuk penelitian berikutnya antara lain:

1. Penilaian ahli yang digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan setiap kriteria dalam penelitian ini memakai penilaian ahli dalam penelitian

sebelumnya, diharapkan penelitian selanjutnya dapat menggunakan ahli yang kompeten dalam bidang PLTS dan mengenal kondisi iklim di Indonesia.

2. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat menggunakan data kontur untuk kriteria kemiringan lereng dan arah orientasi dengan interval yang sesuai dengan skala ketelitian peta.
3. Proses analisa spasial dan metode MCDM dalam penelitian ini dapat diujikan pada pembangunan PLTS di wilayah lain dengan faktor konstrain, kriteria, dan indikator yang sesuai dengan kondisi wilayahnya.

DAFTAR PUSTAKA

Alfy, Z. E., Elhadary, R., & Elashry, A. (2010). Integrating GIS and MCDM to Deal with Landfill Site Selection. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, 10 , 33-40.

Aronoff, S. (1989). *Geographic Information System A Management Perspektive*. Ottawa: WDL.Publications.

Brink, J., & Marx, S. (2013). Harvesting of Hartbeespoort Dam micro-algal biomass trough sand filtration and solar drying. *Fuel* 106 , 67-71.

Carrion, J. A., Estrella, A. E., Dols, F. A., Toro, M. Z., Rodriguez, M., & Ridao, A. R. (2008). Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12 , 2358-2380.

Chen, Y., J.Yu, K. S., & E. X. (2009). A GIS-Based Sensitivity Analysis of Multi-Criteria Weights. *18th World IMACS / MODSIM Congress*. Cairns, Australia.

Dominguez, J., & Amador, J. (2007). Geographical Information System Applied in The Field of Renewable Energy Sources. *Computers & Industrial Engineering* 52 (3) , 322-326.

Escobar, F., Hunter, G., Bishop, I., & Zerger, A. (2001, March 12). *Spatial Data Entry*. Retrieved July 1, 2016, from GIS Self Learning Tool: www.geogra.uah.es/patxi/gisweb/SDEModule/SDE_Theory.htm

Goetzberger A., H. (2005). *Photovoltaic Solar Energy Generation*. Springer.

Guiqin, W., Li, Q., Guoxue, L., & Lijun, C. (2009). Landfill Site Selection using Spatial Information Technologies and AHP: A Case Study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management* 90 , 2414-2421.

Industri, P. L. (2014). *Studi Kelayakan Pembangunan PLTS Terpusat 5 MWP Kupang Wilayah Nusa Tenggara Timur*. Bandung: PT LEN Industri (Persero).

Irwansyah, E. (2013). *SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS: Prinsip Dasar dan Pengembangan Aplikasi*. Yogyakarta: Digibooks.

Janke, J. R. (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy* 35 , 2228-2234.

Kaya, T., & Kahraman, C. (2011). Multicriteria Decision Making in Energy Planning Using a Modified Fuzzy TOPSIS Methodology. *Expert Systems with Application*, 38(6) , 6577-6585.

Lee, A. H., Lin, C. Y., Kang, H. Y., & Lee, W. H. (2012). An Integrated Performance Evaluation Model for the Photovoltaics Industry. *Energies*, 5 , 1271-1291.

Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Nurliyanti, V., Pandin, M., & Pranoto, B. (2012). Pembuatan Peta Potensi Energi Surya. *Mineral dan Energi Vol.10 No.4* , 47-54.

Prahasta, E. (2001). *Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Bandung: Informatika.

Puntodewo, A., Dewi, S., & Tarigan, J. (2003). *Sistem Informasi Geografis Untuk Pengelolaan Sumberdaya Alam*. Bogor: Center for International Forestry Research.

Russo, R. d., & Camanho, R. (2015). Criteria in AHP: a Systematic Review of Literature. *Procedia Computer Science* 55 , 1123-1132.

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: Mc-Graw Hill.

Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L., & García-Cascales, M. S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-

Criteria Decision Making (MCDM) Methods for the Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in South-Eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24 , 544-556.

Sánchez-Lozano, J., García-Cascales, M., & Lamata, M. (2015). Evaluation of suitable locations for the installation of solar thermoelectric power plants. *Computers & Industrial Engineering*, 87 , 343-355.

Smith, M. d., Goodchild, M. F., & Longley, P. L. (2015). *Geospatial Analysis - 5th Edition*. Leicester.

Solarex. (1996). *World Design Insolation Map*. The Natural Source for Electricity.

Sugiyono, A., Anindhita, Boedoyo, M., & Adiarso. (2015). *Outlook Energi Indonesia 2015*. Jakarta: BPPT.

Tahri, M., Hakdaoui, M., & Maanan, M. (2015). The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51 , 1354-1362.

Tejoyuwono. (1986). *Perkembangan Lahan Perkotaan*. Jakarta: Kartika.

Tisza, K. (2014). GIS-Based Suitability Modeling and Multi-Criteria Decision Analysis for Utility Scale Solar Plants In Four States In The Southeast US. *All Theses. Paper 2005* .

Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar Region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28 , 11-17.

Voogd, H. (1983). *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. London: Pion.

Watson, J. J., & Hudson, M. D. (2015). Regional Scale Wind Farm and Solar Farm Suitability Assessment Using GIS-Assisted Multi-Criteria Evaluation. *Landscape and Urban Planning* 138 , 20-31.

Wu, Y., & Geng, S. (2014). Multi-Criteria Decision Making on Selection of Solar–Wind Hybrid Power Station Location: A Case of China. *Energy Conversion and Management* 81 , 527-533.

Zeleny, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making*. New York: McGraw Hill.

Zuidam, R. V. (1985). *Aerial Photo-Interpretation Terrain Analysis and Geomorphology Mapping*. Enschede: Smith Publisher The Hague, ITC.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kabupaten Semarang tanggal 27 Desember 1985. Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis adalah di TK Pertiwi Jambu, SD Negeri 3 Jambu, SMP Negeri 2 Ambarawa, dan SMA Negeri 1 Salatiga. Penulis melanjutkan jenjang pendidikan dengan mengikuti program SPMB 2004 dan diterima di program S-1 Teknik Geomatika, FTSP-ITS pada tahun 2004. Di Teknik Geomatika penulis memilih bidang kajian kelautan dan menyelesaikan masa studinya dengan judul Tugas Akhir “Perbandingan Kedalaman dengan Menggunakan GPS MapSounder dan Depth Recorder”.

Setelah dinyatakan lulus pada Tahun 2009, penulis bekerja di Direktorat Jenderal Penataan Ruang, Kementerian Pekerjaan Umum pada tahun yang sama. Penulis menikah dengan Lettu CTP Handy Yustifitroni, ST pada Tanggal 28 Juni 2013. Pada Tahun 2014, penulis mengikuti Program Karya Siswa Tugas Belajar Pendidikan Kedinasan dan Vokasi Program Pascasarjana (S2) T.A. 2014 Kementerian Pekerjaan Umum, sehingga penulis dapat melanjutkan studi S2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Program Studi Magister Manajemen Teknologi dengan bidang keahlian Manajemen Proyek.

Selama menempuh S2, penulis melahirkan seorang putri cantik pada tanggal 21 Maret 2015 yang diberi nama Putri Aisha Hania. Pada tahun yang sama, Direktorat Jenderal Penataan Ruang diharuskan bergabung dengan Badan Pertanahan Nasional menjadi Kementerian Agraria dan Tata Ruang. Oleh sebab itu, mulai tahun 2015 hingga sekarang penulis berstatus PNS Kementerian Agraria dan Tata Ruang.